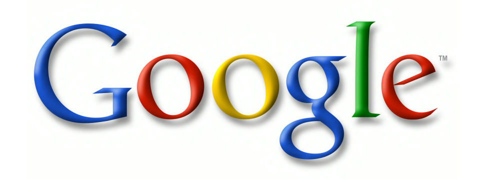
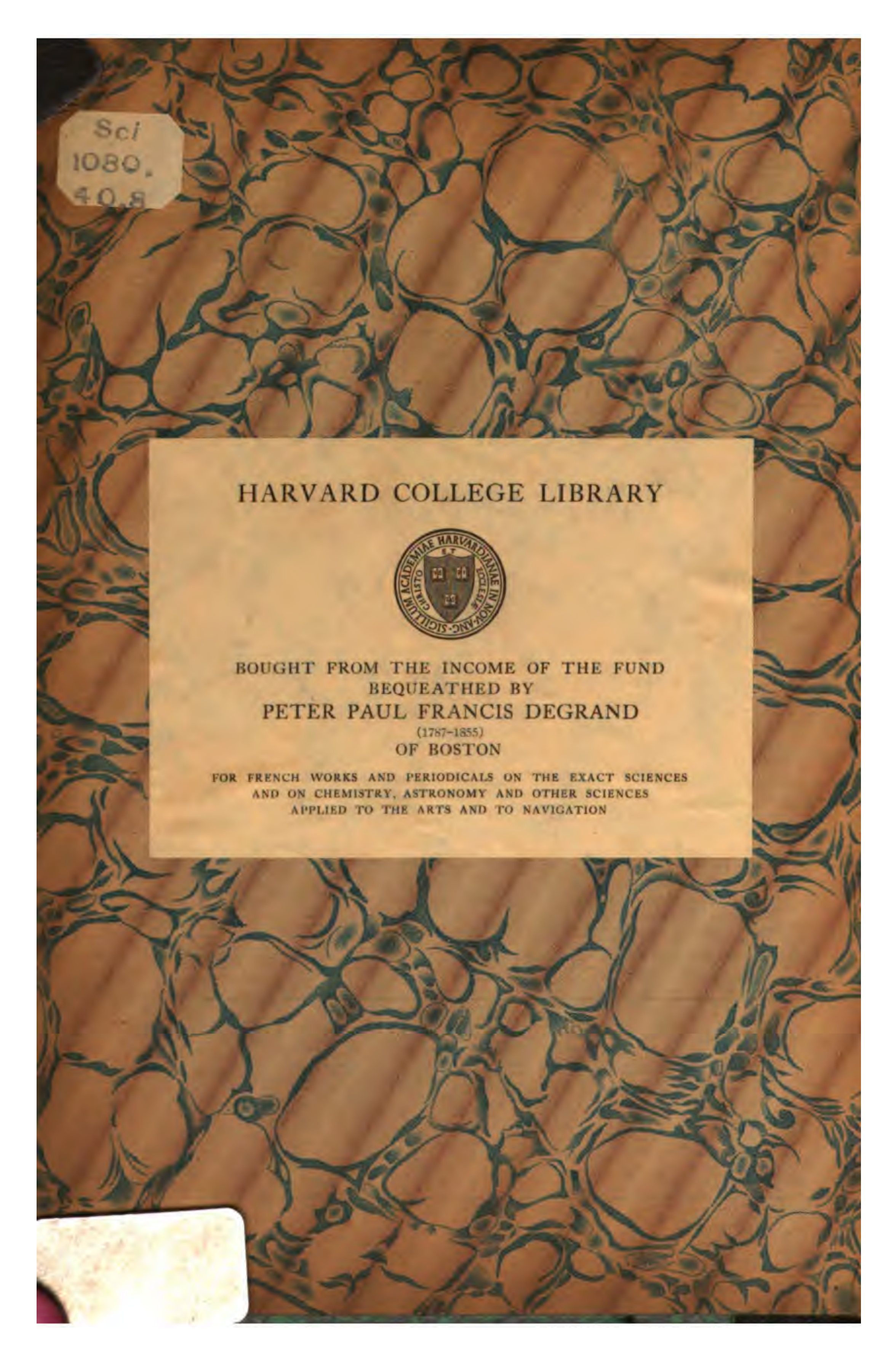




Sci
1080.
40.8



SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE

ANNÉE 1901.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1901.

PARIS,
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ
44, RUE DE RENNES, 44.

1901

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ALLOCUTION

PRONONCÉE DANS LA SÉANCE DU 18 JANVIER 1901

PAR M. A. CORNU

Président sortant de la Société française de Physique.

MES CHERS COLLÈGUES,

En quittant le fauteuil de la présidence où votre bienveillance m'a appelé pour représenter votre Société pendant l'année mémorable qui vient de s'écouler, j'ai la satisfaction de constater avec vous que toutes les espérances que vous aviez conçues ont été réalisées.

Les séances ont été aussi intéressantes et aussi suivies que de coutume ; il semble même que les physiciens, les observateurs et jusqu'aux géomètres versés dans la Physique mathématique, s'accoutument à venir demander à vos suffrages de consacrer l'importance de leurs résultats. Il me suffit de rappeler brièvement les principales communications qui vous ont été présentées : sur les corps radio-actifs, par M. Becquerel, M. et Mme Curie; sur les diverses radiations excitées dans le vide, par MM. Villard et Sagnac; sur la télégraphie multiple, par M. Mercadier. Comme travaux physico-chimiques je citerai ceux de MM. Le Chatelier et Riban; la Physique mécanique vous a apporté les résultats de M. Vieille sur les discontinuités dans les phénomènes de propagation, ceux de M. Amagat sur les fluides; les tourbillons de M. Bénard et l'étude de M. Brillouin sur la

constante de gravitation ; les grandes questions théoriques relatives à l'électricité vous ont été exposées sous divers aspects par M. Raveau, Sacerdote, Crémieu, Swyngedauw ; enfin l'optique, dans ses problèmes les plus délicats, a été représentée par les recherches de M. Vincent sur la couche de passage et par celles de M. Hamy concernant la mesure interférentielle des diamètres des petits astres.

La séance de Pâques, ordinairement conçue en vue d'une exposition générale des appareils nouveaux, n'a pas été organisée cette année dans le même esprit, à cause de l'ouverture d'une réunion autrement solennelle, celle de l'Exposition universelle qui eut lieu à la même époque; là, tous les constructeurs, français et étrangers, ont présenté leurs modèles les plus perfectionnés, et les physiciens de tout pays ont tenu à honneur d'exposer les appareils originaux ayant servi à leurs recherches.

Je n'insisterai pas sur l'ampleur de cette manifestation internationale : elle a été pour nous tous l'occasion d'études rétrospectives et la source d'idées fécondes que nous ne tarderons pas à voir germer et fructifier dans l'avenir.

Mais le plus grand événement de l'année a été, pour nous, la réunion du Congrès international de Physique, organisé sous les auspices de la Société française de Physique, par les soins de notre Comité et de vos secrétaires : rien n'a été négligé pour obtenir des résultats aussi brillants qu'utiles, et le succès, j'ose l'affirmer au nom de tous ceux qui y ont concouru, a dépassé les espérances les plus optimistes.

J'ai déjà eu l'honneur, dans la séance du 16 novembre dernier, de vous rendre compte de ces belles assises de la Physique où nous avons vécu pendant plus d'une semaine dans l'intimité des physiciens les plus éminents du monde entier, avec une cordialité si grande que le vœu unanime de l'Assemblée a été de recommencer dans quelques années une réunion si agréable et si fructueuse.

J'aimerais à m'étendre encore une fois sur ce sujet; mais, si légitime que soit notre orgueil, nous devons être modeste dans notre succès. La modestie sied bien à la plupart d'entre nous, du moins si j'en juge par moi-même, car, dans cette admirable collection de Rapports qui résument les questions présentées au Congrès, nous avons pu juger de l'étendue des immenses domaines que nous ignorions et qu'il nous reste à connaître ; nous recueillerons donc de cette réunion beaucoup plus que nous n'aurons donné.

L'année 1900 ne devait malheureusement pas ne nous apporter que des sujets de joie et de satisfaction; la mort nous a enlevé des collègues qui laissent de grands vides parmi nous : M. Vaschy, physicien-géomètre si éminent et si profond; M. Dubois, professeur au lycée d'Amiens; M. Poiré, professeur honoraire au lycée Condorcet; M. Boutan, inspecteur général honoraire de l'Instruction publique, l'un des fondateurs de notre Société, l'ami et le collaborateur de d'Almeida; M. Georges Masson, libraire-éditeur; M. Duperray, professeur au lycée de Nantes; enfin, M. Joseph Bertrand, l'un des plus illustres parmi nos membres honoraires, dont les travaux de physique-mathématique ont jeté un vif éclat par leur élégance et la finesse de leurs critiques.

Malgré ces décès et quelques démissions, le nombre de nos membres n'a pas cessé de s'accroître cette année. Notre Société compte actuellement 923 membres, en augmentation de 43 sur l'année précédente, c'est-à-dire que jamais notre Société n'a été plus vivante et plus féconde.

Cette prospérité, elle la doit au soin que votre Conseil et vos secrétaires mettent à organiser les séances, au nombre des expériences curieuses et instructives qu'on s'efforce d'y présenter, enfin aux belles publications entreprises sous votre patronage et à vos frais.

Cette initiative si hardie est chaque fois couronnée de succès. Guidé uniquement par l'intérêt de la science et des travailleurs, votre Conseil n'a jamais hésité à entreprendre ces publications si coûteuses, par crainte de la dépense; il aurait honte de thésauriser; il a confiance dans la vitalité de la Société, et cette confiance est récompensée; chaque année, de généreux donateurs, qui se cachent sous l'anonymat (mais dont votre reconnaissance sait percer le voile), viennent spontanément combler les déficits qui menacent d'entraver son œuvre. Tantôt c'est votre éditeur qui apporte acquittée une facture de plus de 700 francs; tantôt un anonyme qui adresse 6.000 francs pour terminer le *Recueil des constantes*, et plus tard 1.000 autres francs encore pour l'organisation du Congrès; enfin, un second anonyme ayant appris qu'il manque 3.000 francs pour achever l'impression du quatrième volume relatif au Congrès, s'empresse de les adresser à votre trésorier.

Rien n'est plus touchant que ces témoignages si précieux pour la prospérité de notre œuvre; rien n'est plus encourageant à continuer dans la voie qui donne à notre Société un rôle si utile au progrès de

la Science; permettez-moi donc d'être votre interprète pour offrir à nos donateurs l'expression sincère de notre gratitude.

Grâce à ces généreux concours, nos publications s'achèvent l'une après l'autre avec une ponctualité qui fait honneur autant à la persévérance des auteurs qu'à la bonne direction de votre Comité. C'est ainsi que nous venons de voir terminer le troisième volume des *Constantes optiques*, œuvre considérable de notre collègue, M. Dufet. Il mérite, lui aussi, un témoignage particulier de haute estime pour le rude labeur qu'il a accompli au grand bénéfice de tous ceux qui s'intéressent à l'optique; nous lui adressons ici, de votre part, toutes nos félicitations et nos remerciements.

Excusez-moi, mes chers collègues, de m'être laissé entraîner à vous haranguer si longuement; j'avais la ferme intention d'être très bref; mais la satisfaction de vous entretenir des succès de notre chère Société a été si attrayant pour moi que j'ai donné libre cours à mes sentiments.

Je vous remercie encore de l'honneur que vous m'avez fait en m'appelant une seconde fois à la présidence, et je prie M. Pellat, dont vous avez depuis de longues années apprécié la science et le dévouement, de me remplacer au fauteuil.

Les appareils de mesures électriques à l'Exposition. Sections étrangères;

Par M. H. Armagnat[1].

Passer en revue tous les appareils de mesures électriques de l'Exposition serait une tâche longue et fastidieuse; il faut se borner à montrer l'évolution accomplie, les progrès réalisés et les tendances actuelles. Dans ce résumé, il est impossible de citer un grand nombre d'appareils très utiles, fort bien construits, mais déjà connus ou ne présentant pas un caractère assez nouveau. Ce n'est donc pas un jugement que l'on devra chercher dans les lignes qui vont suivre, et on ne devra pas conclure que les appareils qui y sont cités sont supérieurs à ceux dont on ne parle pas.

---

(1) Séance du 16 novembre 1900.

Galvanomètres. — Les galvanomètres à cadre mobile ont pris aujourd'hui une place prépondérante dans tous les laboratoires ; on

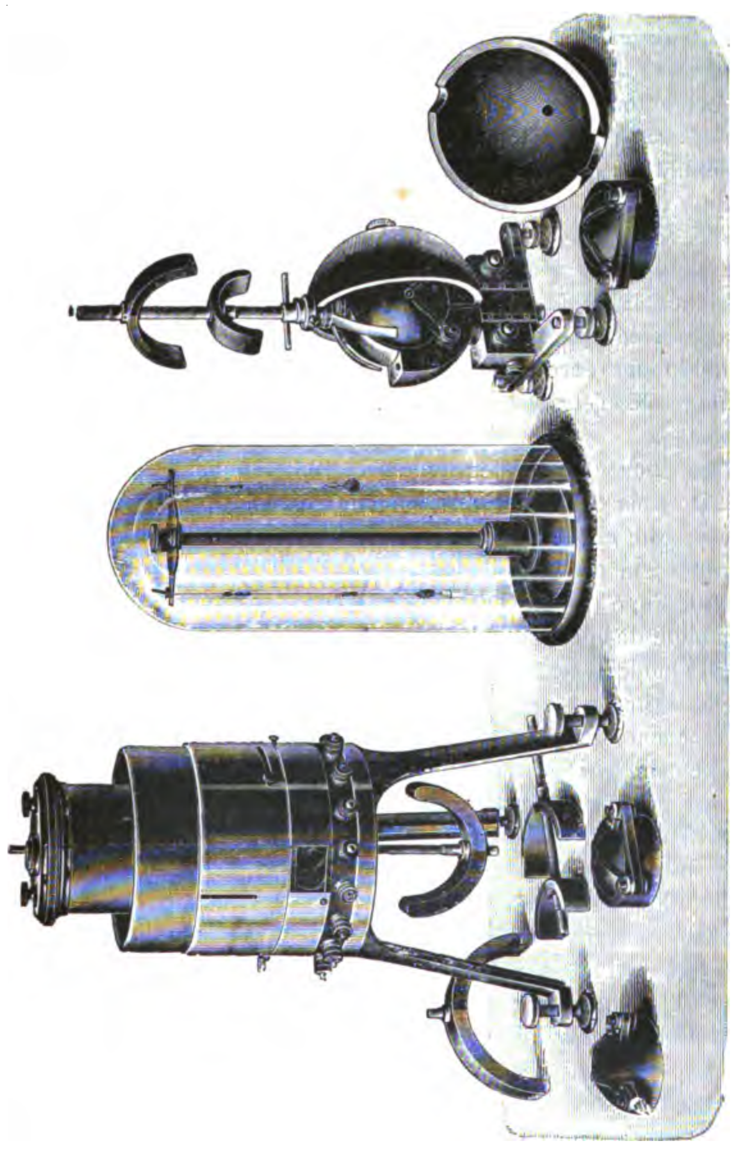


Fig. 1. — Galvanomètres Du Bois et Rubens.

ne se contente plus de les employer aux mesures courantes, qui exigent de la rapidité et peu de sensibilité ; par une progression

constante, ils sont arrivés à donner des résultats équivalents à ceux des galvanomètres Thomson. La maison Hartmann et Braun exposait un galvanomètre donnant une déviation de 1 millimètre, sur une échelle placée à 1 mètre, pour un courant de 5×10^{-10} ampères ! Il est évident que ce résultat n'est obtenu qu'en augmentant le nombre de tours de fil sur le cadre mobile et en diminuant le couple du fil de suspension, toutes choses qui font qu'à partir d'une certaine sensibilité on a encore avantage à recourir aux galvanomètres à aimants mobiles. Un des grands défauts des galvanomètres à cadre mobile, rendus trop sensibles, réside dans leur amortissement, de telle sorte que, si on doit les employer sur un circuit de faible résistance, la déviation se produit avec une trop grande lenteur, et l'usage en devient réellement peu pratique. Néanmoins, ces galvanomètres ont encore, sur ceux à aimants mobiles, le très grand avantage de n'être pas influencés par les variations magnétiques ambiantes.

C'est pour éliminer les influences magnétiques extérieures que MM. Du Bois et Rubens enveloppent leurs galvanomètres dans une double boîte en acier doux (*fig.* 1). Ce cuirassement des galvanomètres a été proposé depuis longtemps déjà, sans grand succès ; l'emploi d'une *double* enveloppe en acier doux paraît être la cause dominante de la réussite dans le cas actuel.

Deux modèles de ce galvanomètre étaient exposés par Siemens et Halske. Dans le plus petit, il y a seulement deux bobines, enveloppées chacune dans une carcasse hémisphérique, en acier fondu, comme celle qui est représentée sur la figure, au pied du galvanomètre. Les bobines ont, chacune, 2.000 ohms ; mais d'autres bobines, ayant 5 ou 100 ohms, peuvent leur être substituées. Les bobines mises en place sont enveloppées dans une seconde cuirasse, et, dans l'intervalle entre les deux sphères, se loge une paire d'aimants directeurs en arc de cercle ; ceux-ci sont manœuvrés à l'aide de deux tiges cylindriques, que l'on voit immédiatement au-dessus de l'enveloppe extérieure ; ils peuvent seulement tourner autour de l'axe. Une seconde paire d'aimants directeurs est placée, extérieurement, sur une tige verticale.

Dans le grand modèle, à quatre bobines, les enveloppes de fer sont cylindriques, celle de l'extérieur est mobile dans le sens vertical. Il y a deux paires d'aimants directeurs, une au dessous, l'autre au dessus, toutes deux extérieures aux enveloppes. Comme

dans le modèle précédent, les bobines ont 2.000, 100 ou 5 ohms.

Ces galvanomètres sont munis chacun de deux équipages astatiques : l'un, relativement lourd, rappelle celui des galvanomètres Thomson; il sert pour les observations courantes; l'autre, extrêmement léger, composé de très petits aimants, sert pour les expériences délicates. D'après les mesures de MM. Du Bois et Rubens, on obtient, avec ces galvanomètres, les sensibilités suivantes, exprimées sous la forme de la *constante d'Ayrton :*

	Modèle à 2 bobines.	Modèle à 4 bobines.
Équipage lourd	80	160
— léger	800	1.000

On sait que la constante d'Ayrton représente la déviation en millimètres, que donne un courant de 1 microampère traversant le galvanomètre, lorsque la distance de l'échelle au miroir est de 2 mètres et la durée d'oscillation de cinq secondes. On ramène toujours, par le calcul, les résultats à ceux que donnerait un galvanomètre ayant seulement 1 ohm de résistance.

La même constante appliquée aux observations balistiques, par la substitution du micro-coulomb au micro-ampère et en remplaçant les déviations permanentes par les élongations, donne :

	Modèle à 2 bobines.	Modèle à 4 bobines.
Équipage lourd	50	100
— léger	500	630

Une disposition assez ingénieuse, présentée par Siemens et Halske, consiste à placer le galvanomètre sur une console accrochée au mur et à mettre l'échelle et la lampe d'éclairement au dessous (*fig.* 2); un système de miroirs et de prismes permet d'éclairer le miroir mobile et de renvoyer l'image réfléchie sur l'échelle. Cet ensemble, monté sur une planchette, peut être placé à une hauteur convenable pour que l'échelle soit en face de l'observateur; on gagne ainsi beaucoup d'espace, et le galvanomètre reste à l'abri des trépidations et des mouvements imprimés à la table sur laquelle on travaille.

Electromètres. — Un électromètre intéressant est exposé par G. Bartels, de Göttingue. Cet appareil, dû à MM. Dolezalek et Nernst, est double, c'est-à-dire qu'il est composé de 2 électromètres à quadrants, superposés l'un à l'autre, dont les aiguilles sont reliées

invariablement entre elles. La charge des aiguilles est assurée par un moyen original : l'axe qui les réunit est un tube dans lequel est enfermée une pile sèche, de sorte qu'elles sont toujours chargées à des potentiels dont la différence, $V - V'$, est égale à la force électro-



Fig. 2. — Support de galvanomètre.

motrice de la pile. Les deux séries de quadrants étant reliées à la manière ordinaire et mises en communication avec la différence de potentiel à mesurer, on obtient, sans pile de charge extérieure, un électromètre dont la sensibilité est très grande. Bien entendu, cet appareil ne peut être employé avec les courants alternatifs.

La théorie s'établit aisément en partant de la formule de Maxwell. Si nous appelons V_1 et V_2 les potentiels des paires de quadrants, les couples électrostatiques exercés sur chaque aiguille seront :

$$\theta = A(V_1 - V_2)\left(V - \frac{V_1 + V_2}{2}\right), \qquad \theta' = A(V_1 - V_2)\left(V' - \frac{V_1 + V_2}{2}\right).$$

et, comme les connexions sont telles que les actions s'ajoutent :

$$\theta + \theta' = A(V_1 - V_2)(V - V');$$

les déviations observées sont donc proportionnelles aux différences de potentiel, $V_1 - V_2$, mesurées.

Avec cet instrument, le professeur Dolezalek a obtenu, à 207 centimètres de distance entre l'échelle et le miroir, une déviation de 35,8 millimètres pour 0,01 volt.

La pile de Dolezalek et Nernst est une sorte d'accumulateur composé d'un grand nombre de couples peroxyde de plomb et étain; la différence de potentiel $V - V'$ peut atteindre quelques centaines de volts.

La suspension étant faite à l'aide d'un fil de quartz, les aiguilles sont complètement isolées et conservent bien leur charge. L'appareil est complété par des organes destinés à supporter les aiguilles et à les maintenir isolées pendant le transport.

Résistances. — Le fait capital, indiqué par l'Exposition, c'est l'emploi, de plus en plus général, des métaux à coefficient de variation, sinon nul, tout au moins négligeable. Parmi ceux-ci l'alliage appelé manganin ou manganine, composé de manganèse et de cuivre, est un des plus employés. C'est aux travaux persévérants effectués au Reichsanstalt de Berlin, que l'on doit de connaître aujourd'hui les conditions d'emploi de cet alliage, proposé il y a déjà longtemps. L'un des plus gros inconvénients à craindre, la variation de résistance avec le temps, peut être, paraît-il, évité par un chauffage à 180°, pendant dix heures; ce moyen produit une sorte de *vieillissement* artificiel, qui assure la permanence de la résistance en l'amenant immédiatement au régime stable. Le manganin a un coefficient de température pratiquement nul et, avantage important, son pouvoir thermo-électrique avec le cuivre est nul ou très faible.

Indépendamment des étalons et des boîtes de résistances, on construit, avec le manganin, des résistances de très faibles valeurs destinées à recevoir des courants très intenses; ces résistances chauffent toujours, et on conçoit très bien l'intérêt d'un métal à coefficient nul. Tous les constructeurs ont montré des étalons de faibles résistances, réalisés avec cet alliage et disposés particulièrement pour la mesure des courants intenses. Néanmoins, afin d'éviter un échauffement exagéré, différentes dispositions connues sont employées : refroidissement par l'air et par l'eau ou bain de liquide. Une disposition intéressante est due à Siemens et Halske : elle consiste à placer la résistance dans une boîte remplie de

paraffine. Quand la température s'élève, la paraffine chauffe et fond; mais, grâce à sa chaleur latente, la température ne peut dépasser que très difficilement le point de fusion, ce qui assure la constance de la température; en même temps la résistance est bien isolée.

Potentiomètres. — Comme nouvelles formes de boîtes de résistance, on trouvait surtout des potentiomètres, appareils basés sur la méthode d'opposition de Poggendorff, pour la mesure des différences de potentiel. On sait que, dans cette méthode, on oppose la force électromotrice E, à mesurer, à la différence de potentiel RI, créée aux bornes d'une résistance R par un courant I. Quand $E = RI$, un galvanomètre intercalé dans le circuit reste au zéro. Dans tous les appareils de l'Exposition, le principe adopté était celui indiqué pour la première fois par M. Crompton, lequel consiste à intercaler dans le circuit d'une pile auxiliaire constante, de 2 volts environ, une résistance formée de 2 parties R et R′, dont la somme doit rester constante; cette disposition limite la valeur de E à 2 volts; aussi, pour mesurer des valeurs supérieures, il faut avoir recours à d'autres résistances sur lesquelles on ferme la force électromotrice inconnue, de façon à en mesurer seulement une fraction connue. L'étalonnage du potentiomètre se fait en plaçant en dérivation sur R un circuit composé d'un étalon de force électromotrice et un galvanomètre et en donnant à cette résistance R la valeur d'un des multiples décimaux de E, pour éviter les calculs; ensuite on règle R′ en observant le galvanomètre. Quand celui-ci est revenu au zéro, R′ est réglé; on doit laisser $R + R'$ constant. En substituant une force électromotrice inconnue, X, à E et en faisant varier R et R′ simultanément et en sens inverse, on obtient de nouveau l'équilibre, et la nouvelle valeur de R donne X.

Tous les dispositifs employés ont pour but de donner un moyen simple de faire varier R, par fractions aussi petites que possible, tout en laissant $R + R'$ constant. Le schéma général de tous ces appareils est bien représenté par un fil tendu sur lequel deux curseurs mobiles laissent entre eux une résistance variable de 0 à la résistance totale du fil, sans changer l'intensité du courant. Dans le potentiomètre de Crompton on trouve d'ailleurs le fil; mais, comme il faudrait lui donner une trop grande longueur pour obtenir un fractionnement suffisant, quatorze bobines, chacune de résistance égale à celle du fil, sont placées en série avec lui; l'un des curseurs

se meut sur le fil, l'autre sur les plots des bobines. Si on règle le courant pour que chaque bobine donne une chute de potentiel de 0,1 volt, le fil, qui est divisé en 1.000 parties, permet de mesurer jusqu'à 10^{-4} volt près ; les quatorze bobines et le fil donnant au maximum 1,5 volt. Des résistances de réglage sont ajoutées sur le socle de l'instrument.

Les potentiomètres allemands de Wolff et de Siemens et Halske sont entièrement formés de bobines, et leur résistance totale est très grande, 10.000 ohms par volt, ce qui permet plus facilement d'obtenir la constance du courant.

Dans l'appareil de Wolff (*fig.* 3), deux séries de résistances donnent les dixièmes et les centièmes de volt, les autres fractions

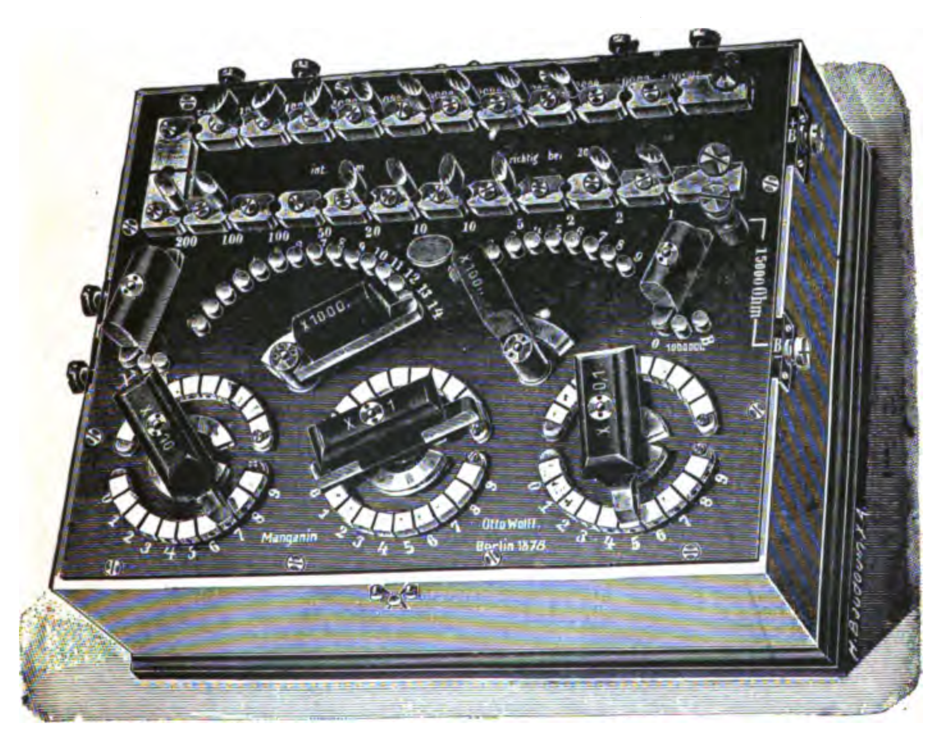


Fig. 3. — Potentiomètre de Wolff.

sont obtenues à l'aide des trois cadrans du bas de la figure, dans lesquels la manette agit en retirant la résistance dans la partie R, pour la reporter dans la partie R′.

Dans le potentiomètre de Siemens, les dixièmes et les millièmes de volt sont obtenus à l'aide des manivelles doubles du bas, les cen-

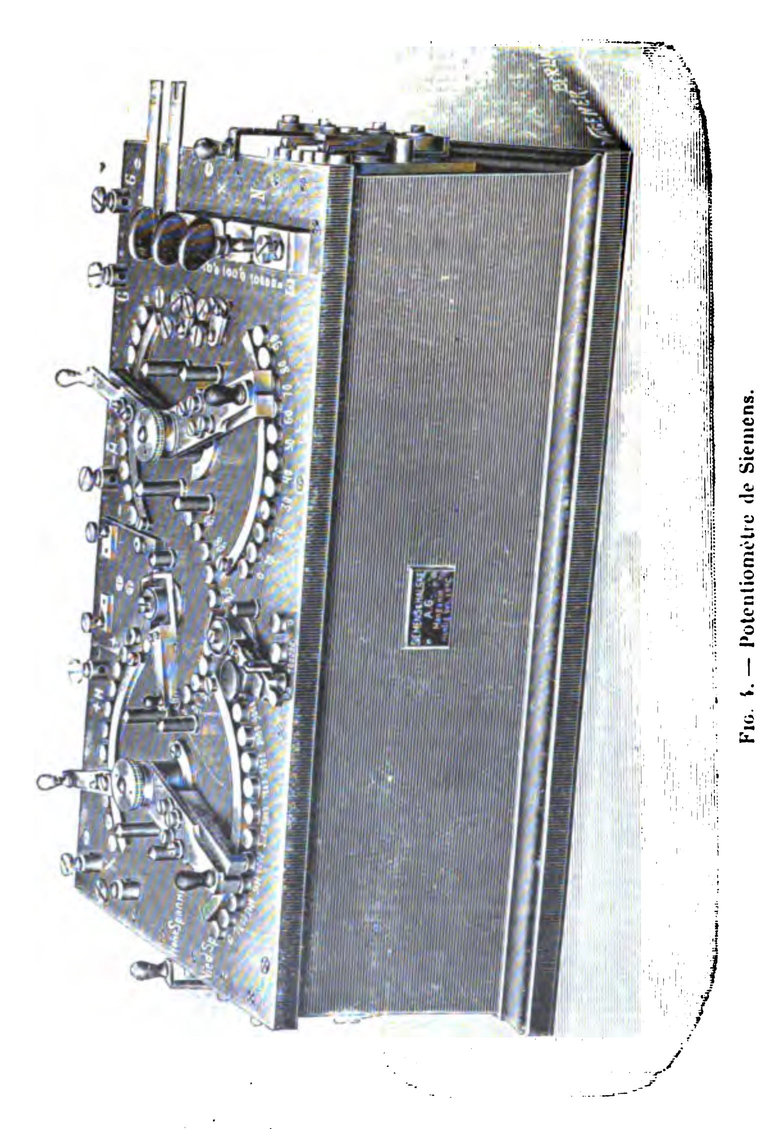


Fig. 4. — Potentiomètre de Siemens.

tièmes et les dix-millièmes à l'aide des manivelles simples du haut; l'ensemble forme comme un double pont de Thomson Varley (*fig.* 4).

Mesures électriques des températures. — L'emploi de la variation

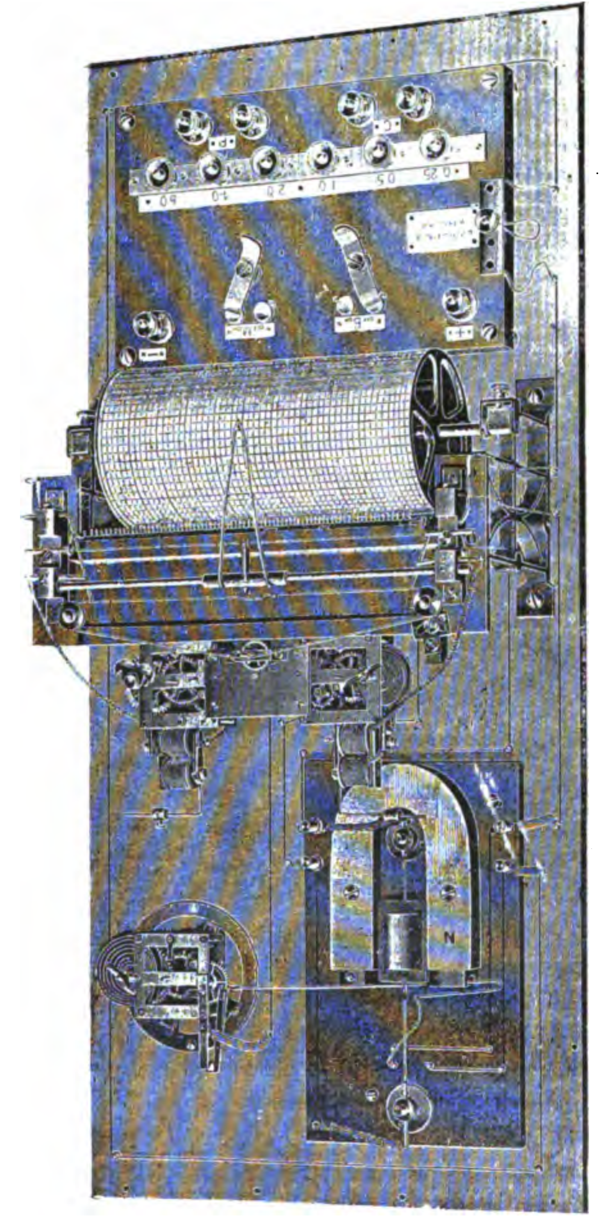


Fig. 5. — Thermomètre électrique enregistreur de Callendar.

de résistance du platine, pour la mesure des températures élevées, a été étudié par Callendar, et la Cambridge Company exposait un thermomètre enregistreur reposant sur cette propriété. L'appareil de Callendar se compose d'un pont de Wheatstone, à bobines et à fil; l'équilibre du galvanomètre est obtenu par le déplacement d'un curseur sur ce fil (*fig.* 5).

Le galvanomètre porte un index formé de deux fils isolés, disposés, à leur extrémité, comme une sorte de fourche, entre les branches de laquelle tourne un petit galet à jante en platine. Quand le galvanomètre est dévié, l'un ou l'autre des fils vient en contact avec le galet et le circuit d'un des électros que l'on voit au-dessus du fil est fermé; cet électro attire son armature et dégage ainsi le mouvement d'horlogerie correspondant, qui, à son tour, commande un treuil sur lequel s'enroule un fil sans fin, et celui-ci entraîne le curseur. Quand le déplacement du curseur a rétabli l'équilibre des résistances, le galvanomètre revient au zéro, l'électro abandonne son armature, et le rouage est immobilisé. Grâce à cet emploi du galvanomètre comme relais, on peut obtenir, avec les forces minimes dont on dispose dans un appareil sensible, un enregistrement très facile. La plume de l'enregistreur est solidaire du curseur et se déplace avec lui.

Le galet de contact est un des points importants de l'appareil; s'il était immobile, il serait impossible d'obtenir un bon contact sans employer une pression considérable, ce qui réduirait la sensibilité et amènerait souvent des collages; mais, grâce au mouvement du galet, ces collages sont évités et, de plus, la surface de contact est toujours propre et lisse, car le galet passe entre deux balais frotteurs qui le décapent constamment.

Appareils magnétiques. — La mesure de la perméabilité du fer employé dans la construction des dynamos est une opération qui commence à s'effectuer, d'une façon assez courante, dans certains ateliers; des appareils spéciaux ont été construits pour rendre cette mesure pratique et industrielle.

Dans tous ces appareils on forme, avec le fer à essayer, un barreau, de section et de longueur déterminées, que l'on place dans une bobine magnétisante. Le circuit magnétique est complété par de grosses pièces de fer qui réduisent la reluctance. La mesure de l'induction magnétique $\mathfrak{B}$, à laquelle est soumis l'échantillon, se fait en mesurant le champ magnétique dans un entrefer, ménagé dans

ce but, en un point, convenablement choisi, du circuit magnétique. Le champ magnétique $\mathcal{H}$ se détermine, d'après l'intensité de courant envoyé dans la bobine, par la formule connue :

$$\mathcal{H} = \frac{4\pi NI}{l},$$

mais il faut faire subir à la valeur calculée une correction, déterminée empiriquement, pour tenir compte de la reluctance constante de l'entrefer et de la reluctance variable des pièces de fer qui complètent le circuit magnétique.

Dans l'appareil de Bruger, construit par Hartmann et Braun (*fig.* 6), le bloc de fer, presque rectangulaire, reçoit la bobine magnétisante et l'échantillon dans son centre. L'échantillon est composé de deux parties, laissant entre elles un petit entrefer dans lequel on loge une spirale de bismuth; la variation de résistance de cette spirale donne la valeur du champ magnétique. L'appareil est complété par un pont de Wheatstone à fil, gradué directement en valeurs de $\mathcal{B}$, au lieu de l'être en ohms. Un galvanomètre sensible, pour le pont, et un ampèremètre, pour le courant magnétisant, sont également placés sur le socle, avec les commutateurs nécessaires.

Dans l'appareil de Koepsel — Siemens et Halske — l'échantillon est d'un seul morceau; le bloc de fer a la forme d'un demi-anneau, de grande section, coupé, suivant un diamètre perpendiculaire à l'échantillon, par un entrefer dans lequel se meut un cadre mobile. C'est, en un mot, un galvanomètre Deprez d'Arsonval, dans lequel le champ est produit par l'aimantation du fer essayé. Un courant constant, envoyé dans le cadre, le fait dévier proportionnellement au champ et, par conséquent, proportionnellement à la valeur cherchée de $\mathcal{B}$. L'appareil comprend le perméamètre proprement dit, renfermé dans une boîte cylindrique que l'on voit en avant de la *fig.* 7, et deux rhéostats, un pour le courant magnétisant, l'autre pour amener le courant fourni au cadre mobile par trois piles sèches à une valeur déterminée. Il faut ajouter, extérieurement, des accumulateurs et un ampèremètre pour le courant magnétisant.

Dans la balance magnétique de Du Bois (*fig.* 8), il y a deux entrefers, ménagés entre les pièces polaires placées à chaque bout du barreau d'essai et un fléau en acier doux de grande section. Quand la bobine magnétisante aimante le barreau, les pièces polaires exercent des forces égales sur le fléau; mais, comme celui-ci oscille sur un

couteau placé au tiers environ de sa longueur, les moments des forces sont inégaux et le fléau tend à s'incliner du côté du plus grand bras

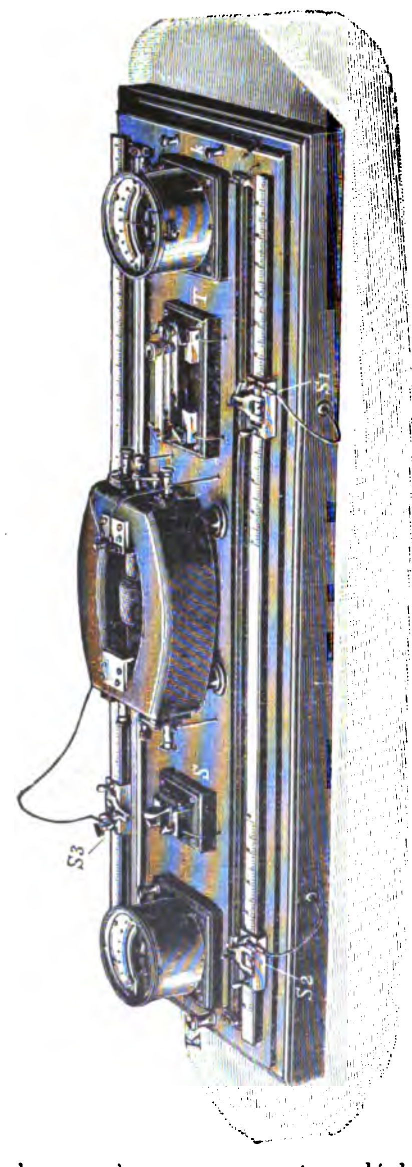


Fig. 6. — Appareil de Bruger.

de levier ; on s'oppose à ce mouvement en déplaçant deux contre-poids mobiles le long du fléau ; la position de ces contrepoids

indique la grandeur de la force attractive exercée, et celle-ci est proportionnelle à $\mathfrak{B}^2$.

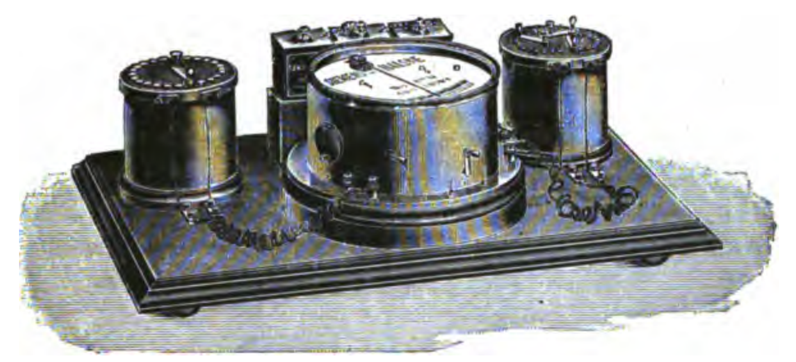


Fig. 7. — Perméamètre de Köpsel.

Oscillographe. — La Cambridge Company exposait l'oscillographe de M. Duddell, appareil destiné à montrer et à photographier la courbe d'un courant périodique quelconque. Basé sur un

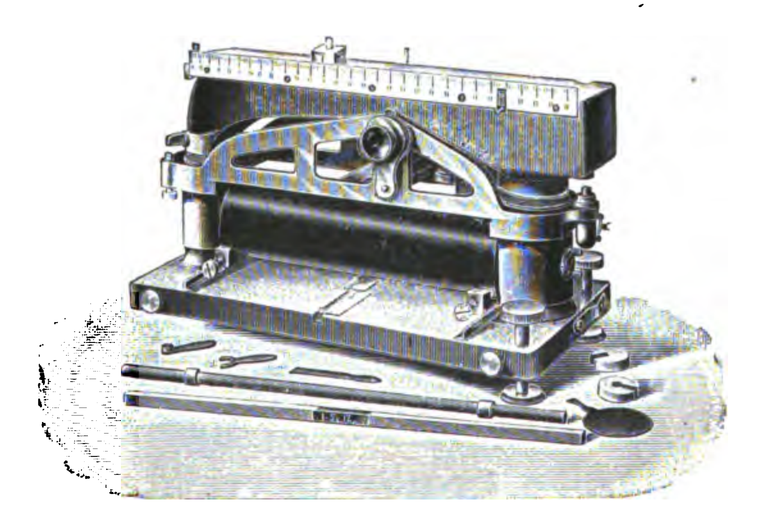


Fig. 8. — Balance magnétique de Du Bois.

principe indiqué, dès 1893, par M. Blondel, mais non réalisé par lui, l'oscillographe Duddell, proprement dit, se compose de deux fils ou rubans très fins, placés verticalement, très près l'un de l'autre,

dans l'étroit entrefer d'un électro-aimant. Le champ est très intense et lorsque le courant parcourt les fils, montant dans l'un et descendant dans l'autre, il tend à les pousser un en avant, l'autre en arrière, de sorte qu'un miroir collé sur le milieu des deux fils est devié proportionnellement au courant.

Les deux fils forment, en réalité, les deux brins d'un ruban de bronze phosphoreux de 0,175 $\times$ 0,0075 millimètre. Ce ruban passe sur une poulie en ivoire, et les brins retombants sont ramenés à côté l'un de l'autre et attachés à des points fixes. Pour que le sys-

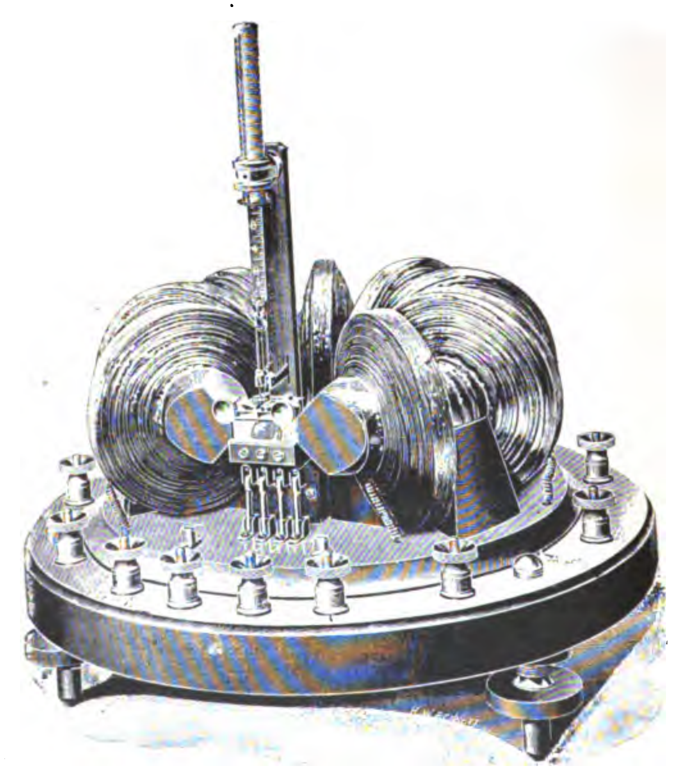


Fig. 9. — Oscillographe Duddell.

tème ait une durée d'oscillation très courte, ce qui est une condition absolue pour les oscillographes, une tension énergique est exercée sur le fil à l'aide d'un peson que l'on voit à la partie supérieure de la *fig.* 9; on obtient ainsi une durée d'oscillation de 10^{-4} seconde environ.

Pour obtenir l'amortissement des oscillations, autre condition indispensable, la partie inférieure des fils et le miroir sont enfermés dans une boîte très étroite formée par les pièces polaires sur les côtés, une cloison en arrière et une lentille en avant; cette boîte est remplie d'huile épaisse.

L'appareil de la *fig.* 9 est double, pour obtenir à la fois la courbe des ampères et celle des volts; la tension est donnée par un seul peson qui agit sur les deux bifilaires. L'électro annulaire qui produit le champ est composé de bobines séparées que l'on peut grouper, à volonté, en série ou en dérivation, selon la source de courant continu dont on dispose. Les quatre tubes que l'on voit au-dessous des pôles renferment des fils fusibles destinés à protéger l'appareil.

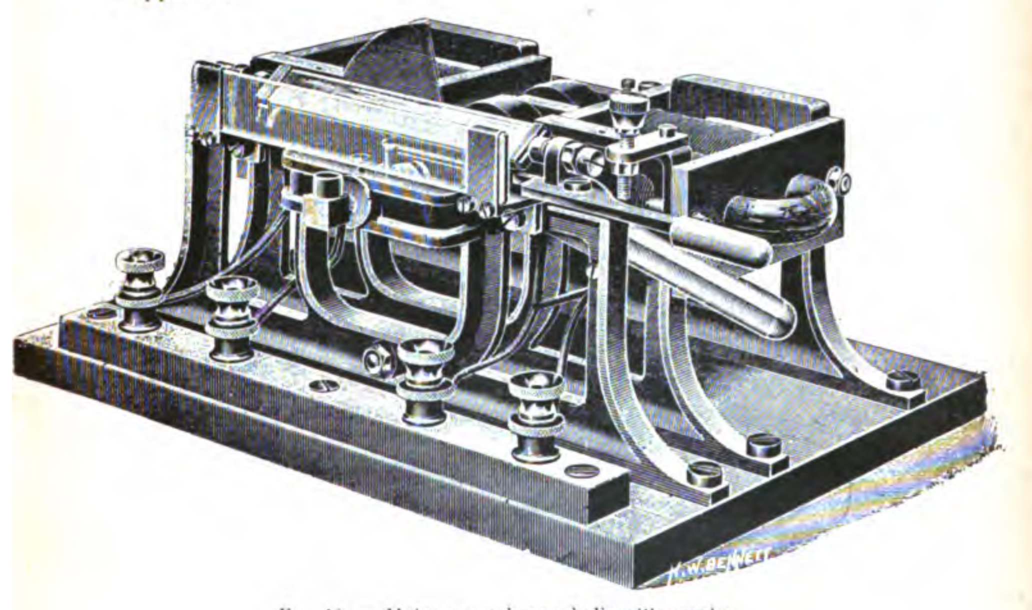


Fig. 10. — Moteur synchrone de l'oscillographe.

Lorsqu'un courant périodique parcourt le bifilaire, le miroir, sur lequel on fait tomber un pinceau de rayons lumineux, donne sur un écran, placé en face, un trait horizontal; mais, au moyen d'un moteur synchrone, on donne au rayon réfléchi une oscillation verticale, ce qui décompose le mouvement du miroir et trace sur l'écran la courbe $I = f(t)$.

Le moteur synchrone est très simple (*fig.* 10) : il se compose

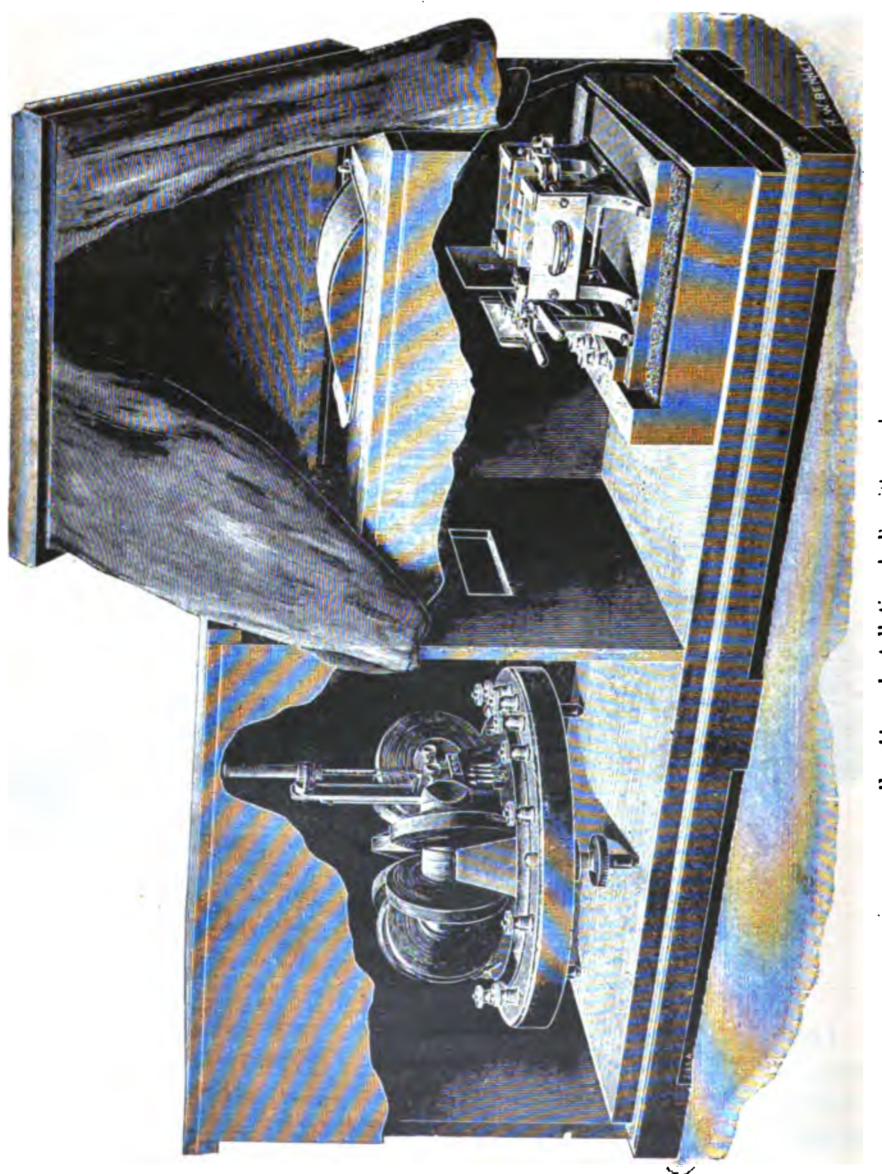


FIG. 11. — Installation de l'oscillographe.

d'une armature tournante formée de quatre tiges de fer doux qui

sont attirées successivement par les électros, une à chaque phase, de sorte que l'armature fait un tour pour deux périodes complètes du courant à étudier. Sur l'arbre de l'armature se trouve une came, qui imprime au miroir incliné un mouvement proportionnel au temps. Le retour du miroir à sa position initiale se fait à chaque tour en un temps très court, pendant lequel un écran vient intercepter le rayon incident, de façon à éviter la superposition d'images de sens inverse.

L'installation complète se voit sur la *fig.* 11 : une source lumineuse éclaire le miroir de l'oscillographe, et le rayon réfléchi, animé d'un mouvement horizontal, tombe sur le miroir incliné, qui le réfléchit à nouveau et l'envoie sur l'écran courbé.

Ampèremètres et voltmètres pour courant continu. — L'appareil le plus employé à l'heure actuelle est le galvanomètre à cadre mobile, sous des formes très variées, mais rappelant toutes les appareils de Weston ; on sait, en effet, que c'est ce constructeur qui a, le premier, mis sur le marché des appareils industriels à cadre mobile monté sur des pivots. Le modèle est aujourd'hui trop connu pour insister.

Dans cette catégorie d'instruments, il y a à signaler deux galvanomètres intéressants; l'un d'eux, construit par Hartmann et Braun, est certainement le plus petit galvanomètre à cadre mobile réalisé industriellement. De la grandeur d'une grosse montre, il renferme un cadre mobile de 5 millimètres de côté environ, monté sur pivots et muni de très petits ressorts spiraux (*fig.* 12). Cet appareil est plus particulièrement destiné à la vérification des accumulateurs.

Le galvanomètre à cadre mobile de lord Kelvin, construit par J. White, a cette particularité que le cadre, dont l'axe est horizontal, est entièrement suspendu par les ressorts spiraux qui le dirigent et lui amènent le courant; il n'y a pas de pivots, ce qui évite les frottements.

Les galvanomètres à cadre mobile ne supportent que de très faibles courants; aussi est-on obligé de les shunter par de très faibles résistances pour la mesure des grandes intensités; ceci est un inconvénient, au point de vue de la précision, mais un grand avantage pour la pratique, car cela permet de placer le shunt dans l'endroit du circuit le plus commode, l'appareil lui-même pouvant être placé à distance et le même galvanomètre pouvant servir pour plusieurs shunts.

Les shunts employés dans ce cas sont constitués par des lames de maillechort ou d'alliage à coefficient nul, disposées de façon à offrir

une grande surface de refroidissement. Dans les shunts de Hartmann (*fig.* 13), les lames sont embouties afin de leur donner de la rigidité.



Fig. 12. — Voltmètre montre.

La Société Allegemeine Elektricitäts Gesellschaft — A.E.G. — exposait un shunt pour 8.000 ampères ; il serait aussi facile d'en faire un

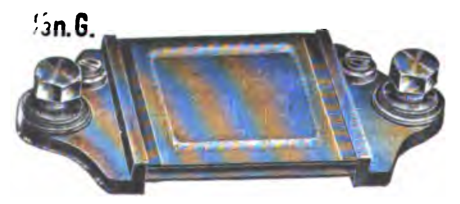


Fig. 13. — Shunt.

pour une intensité dix fois plus grande. Ces shunts ont, en général, une résistance telle qu'ils absorbent environ 0,1 volt.

Ampèremètres et voltmètres pour courant alternatif. — Les appareils simples de Siemens et Halske se composent d'un solénoïde vertical, au-dessus duquel une came en fer doux est portée par un axe horizontal, muni d'un index et d'un contrepoids; l'attraction exercée par le solénoïde tend à faire tourner la came, ce qui fait dévier l'index. Le point intéressant de cet appareil, c'est que l'amortissement est obtenu à l'aide d'un petit piston, solidaire de l'axe, qui entre, sans frottement, dans un cylindre courbé; la résistance de l'air produit un amortissement très suffisant. Nous retrouverons cet amortisseur dans le wattmètre de la même maison.



Fig. 14. — Electromètre multicellulaire.

Dans l'*ampère gauge* de lord Kelvin, un solénoïde attire une tige de fer verticale, portée par un bras solidaire de l'index ; le système oscille sur des couteaux. L'amortissement est obtenu en faisant plonger un petit disque dans un vase rempli de glycérine. Cet appareil est déjà ancien; les nouveaux modèles ont un solénoïde composé de tubes concentriques découpés en hélice.

Le voltmètre multicellulaire de lord Kelvin, pour voltages élevés (*fig.* 14), présente une disposition curieuse destinée à limiter l'échelle à la partie utile; on sait que les voltmètres sont souvent

employés dans des installations à voltage constant, de sorte que l'on n'a à observer que de faibles variations en dehors du régime. Dans cet appareil, l'axe horizontal repose sur des couteaux, et la force antagoniste est la pesanteur. Un contrepoids, fixé à gauche de l'axe, est équilibré par le petit cavalier que l'on voit à droite, de sorte qu'au zéro l'appareil n'est soumis qu'à une force directrice très faible ; mais, dès qu'une différence de potentiel existe entre les armatures, la partie mobile tourne, et le cavalier vient, presque aussitôt, reposer sur un support fixe ; il faut alors que la force électrostatique augmente beaucoup pour vaincre l'excès de la force antagoniste, et la déviation ne continue à se produire que quand on approche du régime. Par ce moyen, on réduit le nombre de divisions de l'échelle et on augmente leur amplitude, ce qui facilite beaucoup les observations.

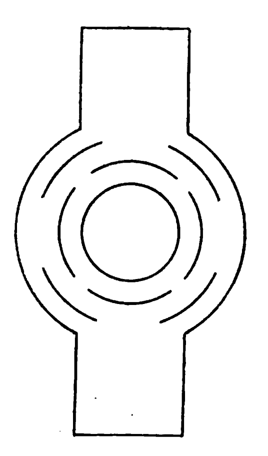


Fig. 15. — Wattmètre Siemens.

Le volt-ampèremètre Elliott, le wattmètre Weston et les électrodynamomètres Siemens, à lecture directe, sont des appareils qui, comme les précédents, peuvent servir sur courant continu ou sur courant alternatif. Ce sont des électrodynamomètres, dans lesquels un cadre mobile, porté par des pivots, est placé au centre d'une bobine fixe dans laquelle il peut dévier. Un index permet de lire cette déviation sur un cadran divisé ; ce sont, si l'on veut, des galvanomètres Deprez d'Arsonval, dans lesquels le champ magnétique fixe est produit par un solénoïde, au lieu de l'être par un aimant permanent;

grâce à cette substitution, il est possible de les employer avec le courant alternatif.

Dans le wattmètre de Weston, la bobine fixe reçoit le courant total et la bobine mobile est placée en dérivation sur le circuit ; elle agit comme bobine des volts ; c'est le dispositif connu de tous les électrodynamomètres employés comme wattmètres. L'amortissement des oscillations est obtenu en produisant un léger frottement sur l'index, à l'aide d'un arc de cercle commandé par une manette ; bien entendu ce frottement n'est que temporaire.

Dans le volt-ampèremètre Elliott, les deux bobines, fixe et mobile, sont enroulées en fil fin ; elles sont montées en série et constituent un milliampèremètre. Pour la mesure des intensités, on emploie des shunts de faible résistance. Pour la mesure des voltages ordinaires, on fait usage de résistances, montées en série avec l'appareil, et enfin, pour les voltages supérieurs à 100 volts, on emploie un transformateur réducteur de tension.



Fig. 16. — Wattmètre de précision Siemens.

Les électrodynamomètres à lecture directe de Siemens diffèrent du modèle classique : ce sont des appareils portatifs dans lesquels la déviation du cadre mobile donne la valeur du courant ; ils sont munis de l'amortisseur à air déjà signalé. Le wattmètre de cette série est intéressant, à cause de la forme donnée à la bobine fixe. On sait que la force électrodynamique exercée par un champ uniforme sur une bobine mobile est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle au cosinus de l'angle que fait le plan des spires avec la

direction du champ; quand celui-ci est parallèle, la déviation du cadre mobile n'est pas proportionnelle au produit des intensités du courant dans les deux cadres. Pour corriger cet effet, la bobine fixe est rectangulaire et les deux côtés perpendiculaires à l'axe de rotation du cadre mobile sont découpés en cercle (*fig.* 15), avec des fentes destinées à forcer le courant à suivre la circonférence. Cette disposition fait que le champ produit par la bobine fixe est divergent, et le cadre mobile coupe les lignes de force normalement.

Le même résultat que ci-dessus est obtenu, dans les électrodynamomètres de l'A. E. G., en enfermant la bobine fixe dans l'évidement d'un faisceau de tôle (*fig.* 17). L'ouverture a une forme cylindrique qui produit également la divergence des lignes de force. Cette solution a l'inconvénient d'introduire du fer dans l'appareil. L'amortissement est obtenu par l'action de deux aimants sur un disque d'aluminium; la présence de ces aimants fait que l'appareil ne peut pas servir avec le courant continu.

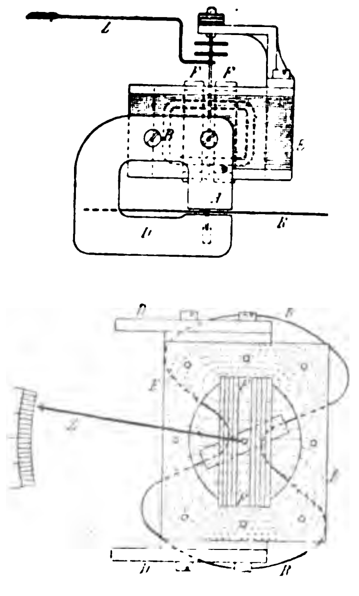


Fig. 17. — Wattmètre A. E. G.

D'autres appareils ne peuvent servir que sur courants alternatifs; de ce nombre sont les galvanomètres à induction. On connaît le principe de ces appareils : un électro parcouru par le courant à

mesurer, induit des courants dans un disque ou un tambour en métal bon conducteur, susceptible de tourner autour de son centre ; si tout est symétrique dans l'appareil, il ne se produit aucun déplacement du disque ; mais si, par un moyen quelconque, par exemple, à l'aide d'un écran conducteur fixe, placé en partie entre l'électro et le disque, on crée une dissymétrie, les courants induits se développent inégalement des deux côtés, et leur action électrodynamique sur le champ de l'électro produit une réaction qui tend à faire tourner le disque ; le couple moteur est fonction de l'intensité du courant que l'on mesure.

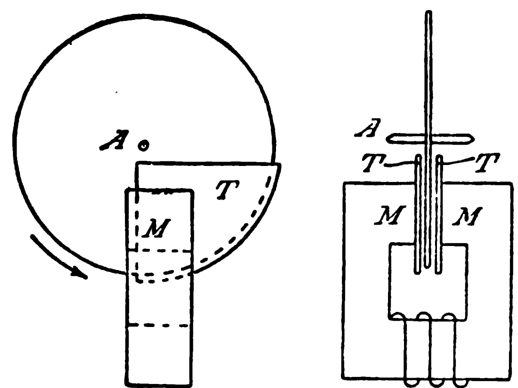


Fig. 18. — Schéma des appareils à induction A. E. G.



Fig. 19. — Voltmètre à induction.

Dans les appareils de l'A. E. G. (*fig.* 18 et 19), la partie mobile est

un disque qui passe dans l'étroit entrefer ménagé dans le circuit magnétique d'un électro. Dans le wattmètre, il y a trois électros : un, au centre, pour les ampères, deux sur les côtés, pour les volts. La force antagoniste est fournie par *deux* ressorts spiraux opposés de façon à éviter les déplacements de zéro causés par la dilatation d'un ressort unique. Un aimant permanent agit sur la partie du disque opposée aux électros et produit l'amortissement.

Dans les appareils Siemens (*fig.* 20), l'armature est un tambour placé au centre d'un anneau de tôle de fer ; sur cet anneau, il y a des projections polaires sur lesquelles sont enroulées les bobines. L'amortisseur magnétique est placé sur un disque indépendant.

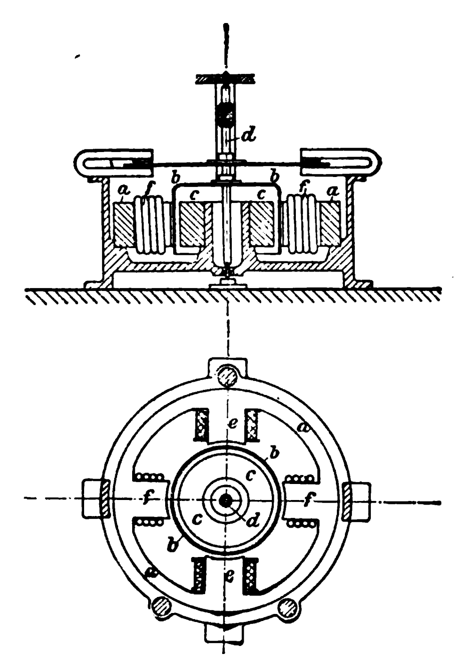


Fig. 20. — Appareil Ferraris de Siemens.

L'emploi des transformateurs tend à se généraliser dans la mesure industrielle des courants alternatifs; on conçoit facilement qu'un transformateur, dont la résistance des circuits est négligeable, peut donner un coefficient de transformation constant. Il est cependant bon de n'employer ces appareils que dans les conditions où ils ont été gradués, si l'on veut obtenir des résultats exacts.

Les avantages réclamés pour l'emploi des transformateurs sont les suivants : pour les ampèremètres, ils permettent d'employer des appareils d'intensité moyenne, plus faciles à construire et que l'on peut placer en un point commode pour l'observation, tandis que le transformateur, intercalé dans le circuit à grande intensité, est d'ac-

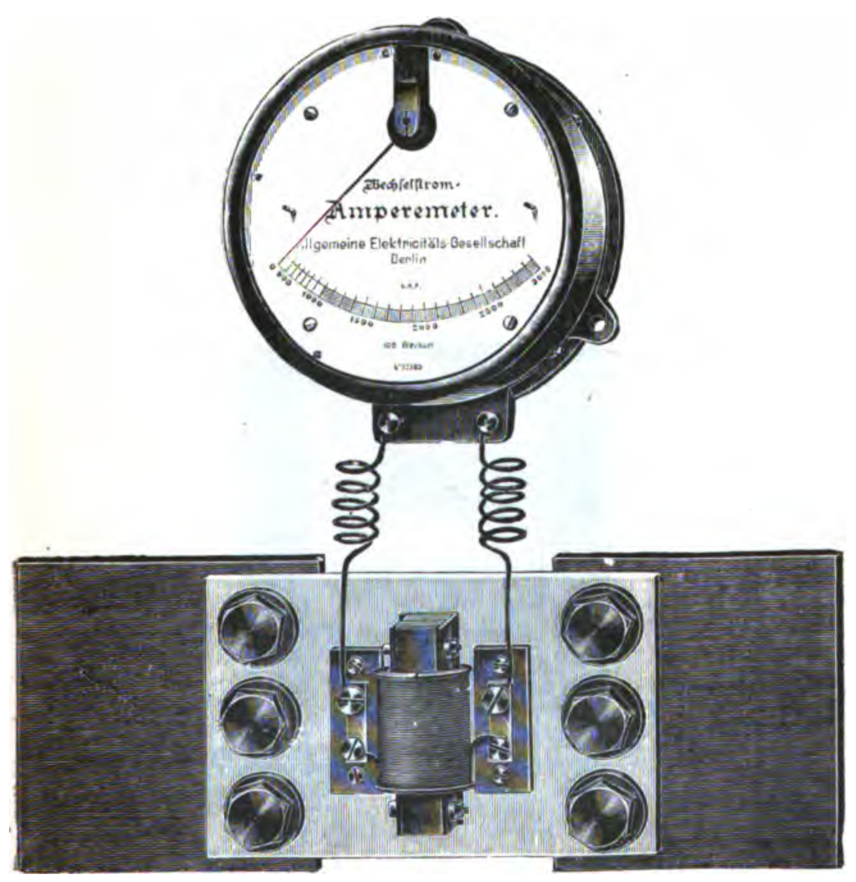


Fig. 21. — Ampèremètre avec transformateur.

cès moins commode. En un mot, le transformateur donne, pour le courant alternatif, les mêmes avantages que le shunt pour les appareils à courant continu. La Société A. E. G. exposait un transformateur pour la mesure de courants alternatifs de 8.000 ampères, à peu près semblable à celui de la figure 21. Ce transformateur *éléva-*

teur de tension consiste simplement en lames de cuivre traversées par le courant, entourées d'un cadre en tôle de fer sur un des côtés duquel est enroulé une bobine secondaire ayant un nombre convenable de tours de fil.

Pour les voltmètres, les transformateurs *réducteurs de tension* ont le double avantage d'éviter l'emploi des très grandes résistances qu'il serait nécessaire de mettre en série pour réduire la sensibilité, et, en même temps, ils isolent complètement l'appareil de mesures du circuit à haute tension. Dans les compteurs et les wattmètres destinés aux distributions à haut voltage, on emploie fréquemment un transformateur pour les ampères et un autre pour les volts, de sorte que l'appareil est complètement isolé et peut être manipulé sans danger

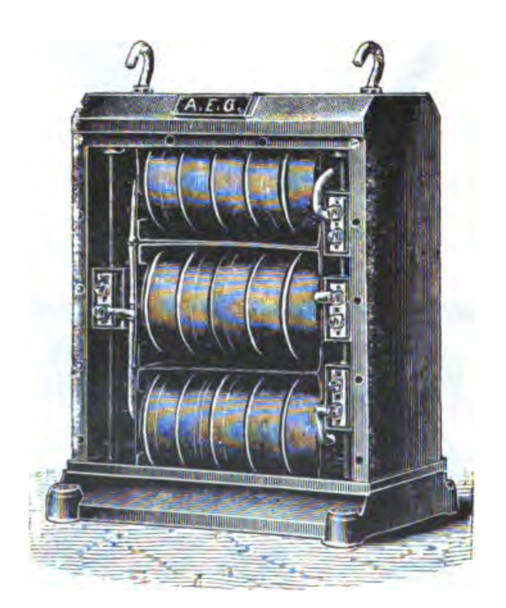


Fig. 22. — Transformateur.

Les transformateurs de mesures sont des appareils assez importants. Celui de la figure 22 pèse environ 39 kilogrammes. Ces dimensions sont nécessaires pour obtenir des circuits ayant une très faible résistance ohmique.

Le voltmètre du professeur R. Arno est basé sur l'hytérésis diélectrique et sur les champs électrostatiques tournants. Il se compose

essentiellement de trois armatures formant des portions isolées d un même cylindre ; au milieu se trouve un cylindre en matière isolante : papier ou carton paraffiné, monté sur un axe central, autour duquel il peut tourner. Le cylindre mobile est maintenu par un ressort spiral, et il porte un index qui permet de lire la déviation sur un cadran divisé. Quand les trois armatures sont reliées aux pôles d'un circuit triphasé, un champ électrostatique tournant prend naissance entre elles, et le cylindre mobile est sollicité à tourner par suite du retard d'électrisation dû à l'hystérésis diélectrique. Cet appareil est plutôt théorique, le professeur Arno l'a cependant réalisé sous la forme d'un voltmètre.

Phasemètres. — Deux courants alternatifs de même forme et de même période diffèrent entre eux par leur amplitude et aussi par le retard qui peut exister entre leurs passages au zéro. En particulier, quand les deux courants comparés sont, l'un le courant total I, l'autre, un courant proportionnel à la différence de potentiel U du même courant, il est intéressant de noter la différence de phase φ qui existe entre leurs passages au zéro, puisque la puissance utile est donnée, dans le cas d'un courant sinusoïdal, par :

$$P = U_{eff} I_{eff} \cos \varphi.$$

Dans le cas, beaucoup plus général, où le courant n'a pas la forme sinusoïdale simple la puissance est exprimée par :

$$P = U_{eff} I_{eff} K,$$

où K est ce que l'on nomme le *facteur de puissance.*

Le facteur φ n'a pas toujours une signification précise; car, selon la forme des courants mesurés et aussi selon le principe du phasemètre employé, le résultat atteint est une fonction de K ou de cos φ; néanmoins, au point de vue pratique, l'indication du phasemètre peut être utile en montrant de quelle façon l'énergie produite est absorbée. Par exemple, dans une usine de distribution de courant alternatif à haute tension, quand tous les transformateurs des clients sont sur le circuit et qu'il n'y a pas de consommation *utile*, on constate que la puissance apparente $U_{eff} I_{eff}$ est grande, tandis que la puissance réelle est faible, parce que φ est élevé, ou, pour mieux dire, parce que K est petit.

Comme phasemètres industriels, on voyait, à l'Exposition, deux modèles : celui de Hartmann et celui de l'A. E. G.

Le phasemètre Hartmann est une sorte de wattmètre dans lequel la bobine fixe est parcourue par le courant total, tandis que le courant dérivé, proportionnel à U, traverse simultanément deux cadres mobiles fixés à 90° l'un de l'autre (*fig.* 23). Les cadres mobiles sont montés sur pivots et des lames minces d'argent leur amènent le courant, sans donner de force directrice appréciable, de sorte que l'ensemble est libre de tourner. A l'aide de résistances et de bobines de self, l'un des cadres reçoit le courant en phase avec U, tandis que, dans l'autre, on obtient un retard de 90°; ces deux courants sont égaux comme intensité. Un champ tournant prend naissance dans l'intérieur des cadres mobiles et tend à orienter le système jusqu'à

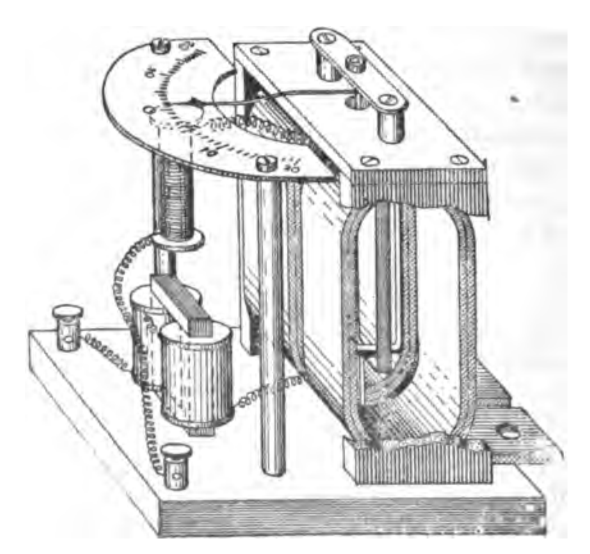


Fig. 23. — Phasemètre Hartmann.

ce que l'action exercée par le cadre fixe soit maximum ; ce résultat est atteint quand la composante du champ tournant qui est en phase avec I est parallèle au champ créé par la bobine fixe. Un index indique à ce moment l'angle de phase φ sur un cadran gradué empiriquement.

L'appareil de l'A. E. G. est basé sur un principe un peu différent : si nous reprenons l'hypothèse du courant sinusoïdal, nous savons que U et I peuvent être représentés par deux vecteurs faisant entre eux un angle égal à l'angle de phase. Le vecteur représentant le courant I

peut être remplacé par deux autres dont la résultante se confond avec I; prenons l'une des composantes en phase avec U; sa valeur sera I cos φ; c'est le courant qui donne la puissance; prenons la seconde composante en quadrature avec U, sa valeur sera I sin φ, et la valeur moyenne du produit UI sin φ étant toujours nulle, ce courant ne produit aucune puissance; on l'appelle souvent courant *déwatté*. Si l'on connaît I sin φ, on possède un des éléments du problème. L'appareil de l'A. E. G. donne I sin φ; il est gradué en *ampères;* c'est, en résumé, un wattmètre à induction, comme celui dont nous avons parlé plus haut; mais ici le courant dans la bobine des volts est en phase avec U, de sorte que si U et I sont également en phase, le couple exercé sur le disque est nul, tandis que, dans le wattmètre proprement dit, on est obligé de donner une self-induction considérable à la bobine de volts, afin que son courant soit retardé de 90°.

Fréquencemètres. — Bien que la mesure de la fréquence soit plutôt intéressante dans les laboratoires, la maison Hartmann a créé deux modèles de fréquencemètres industriels, dus à M. Kempf. Le premier, qui est un fréquencemètre proprement dit (*fig.* 24), est composé de

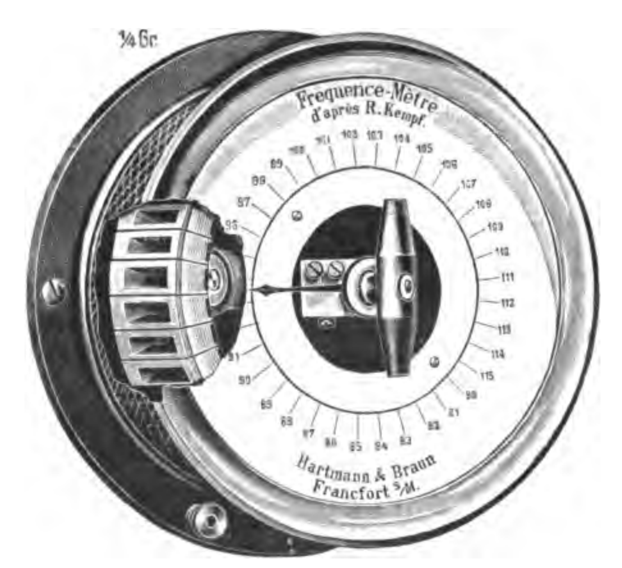


Fig. 24. — Fréquencemètre.

32 lames vibrantes disposées à l'intérieur d'un cylindre, au centre duquel un arbre porte un électro, qu'une manette permet d'amener

devant chaque lame. Les lames vibrantes sont réglées de telle sorte que leur nombre de vibrations augmente d'une unité, d'une lame à la suivante. Quand l'électro est excité par le courant alternatif à mesurer, on l'amène successivement devant chaque lame, et quand il arrive devant celle dont la période correspond, cette lame résonne et fait entendre un son très intense; il n'y a plus qu'à lire le nombre de vibrations indiqué par cette lame, ce qui fait connaître la fréquence cherchée. L'appareil exposé était construit pour des fréquences comprises entre 40 et 56 périodes par seconde. L'égalité de vibration de deux lames consécutives permet aussi de mesurer à une fraction de période près.

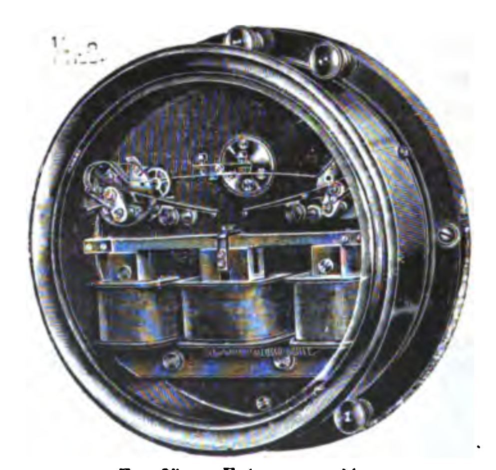


FIG. 25. — Fréquencemètre.

Le second appareil (*fig.* 25) est plutôt un indicateur de vitesse : deux ressorts, de fréquence voisine, sont placés devant deux électros excités par le courant alternatif ; quand la fréquence est normale, les lames restent au repos ; si elle augmente ou diminue, l'une ou l'autre des lames résonne et ses vibrations prennent une grande amplitude, de sorte qu'elle ferme un circuit contenant un avertisseur : sonnerie ou lampe.

De cet exposé sommaire on peut conclure que si l'Exposition ne nous a pas montré d'appareils entièrement nouveaux, elle renfermait néanmoins beaucoup de choses intéressantes, même au point de vue un peu spécial des mesures, et en se limitant, comme nous l'avons fait ici, aux sections étrangères. L'examen de la Section française

montrait qu'au point de vue des progrès réalisés, comme à celui des idées originales, notre pays n'est pas resté en arrière.

Acoustique architecturale;

Par M. Wallace-C. Sabine [1].

Cette brochure est une réimpression de sept mémoires, parus dans le journal *American Architect.* L'auteur se propose d'étudier successivement les principales questions relatives à l'acoustique architecturale; mais il se borne, quant à présent, à formuler la loi d'après laquelle un son uniforme, émis en un point d'une salle, s'éteint quand on supprime brusquement la source sonore.

Le sujet étant intéressant et peu connu, nous croyons devoir donner quelque étendue à l'analyse de l'important travail de M. Sabine.

I. *Introduction.* — Les parois d'une salle, les meubles qui la garnissent, les auditeurs qu'elle contient, sont autant d'obstacles à la libre propagation du son. Suivant que ces objets sont plus ou moins élastiques, ils absorbent une portion plus ou moins faible de l'énergie sonore incidente, et réfléchissent ou diffusent le reste. Les ondes réfléchies ou diffusées se propagent de nouveau à travers la salle, puis donnent lieu à de nouvelles réflexions ou diffusions, et ainsi de suite.

Quand un son continu et uniforme est émis en un point d'une salle, l'intensité du son perçu par un auditeur déterminé est la résultante de l'onde primaire qui lui vient directement de la source, et du nombre infini d'ondes diffusées ou réfléchies que lui renvoient les parois et tous les objets contenus dans la salle. Cette intensité résultante peut varier, d'un point à un autre de la salle, suivant les positions respectives de la source et du spectateur; mais la salle doit être construite de telle manière que les variations soient les plus faibles possible, dans les limites de positions assignées à la source sonore d'une part, aux auditeurs d'autre part.

Le bon sens avait déjà enseigné aux Grecs que les auditeurs doivent être distribués dans un hémicycle avec gradins étagés, de

---

[1] Communication faite par M. Bouty à la séance du 18 janvier 1901.

telle sorte que chaque auditeur reçoive l'onde directe provenant de la source. Le mur de scène leur envoyait, de plus, une onde réfléchie. Les modernes ont ajouté un plafond qui rabat dans la salle la portion de l'onde sonore que les Grecs laissaient se dissiper sans profit.

Mais l'onde directe et les ondes réfléchies successives parcourent des longueurs totales différentes pour parvenir à l'oreille de l'auditeur. Si le son est de très courte durée et si la forme de la salle se prête à un système de réflexions régulières, on entendra donc une série d'échos distincts, ce qui constitue une condition acoustique déplorable. Si, au contraire, la salle ne donne lieu qu'à des réflexions ou diffusions tout à fait irrégulières, il n'y aura plus d'échos distincts, mais un simple prolongement du son, dont l'intensité tendra vers zéro, d'après une loi qui peut, d'ailleurs, varier suivant les positions relatives de la source et de l'auditeur. C'est à cette prolongation continue du son que l'auteur donne le nom de *réverbération.* Il laissera de côté la question des échos, pour s'occuper de la réverbération seule.

Pour éliminer le plus possible tout ce qui est accidentel et susceptible de varier d'un point à un autre de la même salle, et ne conserver qu'un élément caractéristique de l'audition moyenne, l'auteur se borne à mesurer la *durée* du son résiduel. Le son est émis par un tuyau d'orgue entretenu par une soufflerie absolument silencieuse, munie d'un régulateur. Quand le régime est bien établi, on ferme brusquement la valve d'émission de la soufflerie, on enregistre sur un chronographe l'instant de la fermeture et celui où l'oreille cesse de percevoir aucun son.

Cette mesure est particulièrement délicate dans les villes, à cause des bruits extérieurs. Les expériences doivent être faites de nuit, aux heures où tout est calme, et seulement quand il n'y a pas de vent sensible. M. Sabine constate alors que, dans plusieurs expériences faites successivement ou même à différents jours, par divers expérimentateurs, mais avec le même tuyau excité d'une manière identique, en un même point de la même salle, les durées enregistrées ne diffèrent pas entre elles de plus de quelques centièmes de seconde. La durée du son résiduel est donc, d'après l'auteur, un élément assez bien défini et mesurable avec assez d'exactitude pour donner lieu à une étude véritablement scientifique.

D'une salle à une autre et, dans une même salle, suivant l'ameu-

blement, cette durée du son résiduel varie largement de 2 à 10 secondes, par exemple ; une fenêtre ouverte ou fermée, une tenture de quelques mètres carrés appliquée contre un mur ou pendant du plafond, suffit à la modifier d'une façon sensible.

2. *Pouvoir absorbant des surfaces murales.* — Les expériences faites dans divers amphithéâtres, de formes variées, ont d'abord établi que la durée du son résiduel, dans une même salle, dépend

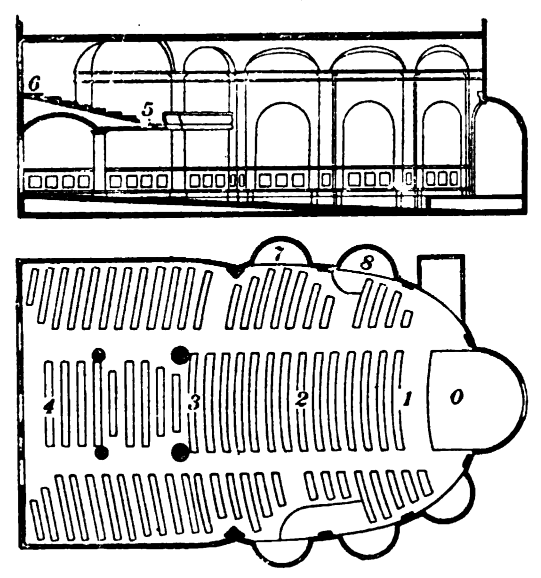


Fig. 1.

peu des positions relatives de la source sonore et de l'observateur. La figure 1 représente en coupe et en plan une salle américaine d'auditions musicales [1] ; on voit en *o* la position du tuyau d'orgue, en 1, 2, 3, etc., les positions successives de l'observateur. Les durées du son résiduel ont été les suivantes :

Station.	Durée en secondes.
1	2,12
2	2,17
3	2,23
4	2,20
5	2,23
6	2,27
7	2,20
8	2,26

(1) *Steinert Hall*, Boston.

Des expériences analogues ont été faites dans d'autres salles, en changeant la position du tuyau d'orgue, et ont toujours fourni des résultats très voisins entre eux.

Une série d'expériences, consistant à recouvrir de coussins les sièges de bois d'un amphithéâtre [1], a prouvé que l'effet d'un coussin ne dépend pas de sa position dans la salle, mais que la durée du son résiduel varie en sens inverse de la longueur totale, ou mieux, de la surface totale couverte par les coussins.

Longueur totale des coussins, en mètres.	Durée du son résiduel (en secondes).
0	5,61
8	5,33
17	4,94
28	4,56
44	4,21
63	3,94
83	3,49
104	3,33
128	3,00
145	2,85
162	2,64
189	2,36
213	2,33
242	2,22

La courbe ci-jointe (*fig.* 2) représente graphiquement les mêmes résultats. C'est une hyperbole dont l'équation est :

$$t = \frac{813}{146 + x}.$$

t est la durée du son résiduel, x la longueur totale des coussins.

Les deux quantités, placées en dénominateur, doivent jouer un rôle analogue, c'est-à-dire correspondre à des actions de même espèce, au point de vue de l'extinction du son. Les parois et l'ameublement de la salle dépourvue de coussins équivalent donc à 146 mètres de coussins.

L'absorption du son par les surfaces murales, etc., se trouve ainsi évaluée en unités arbitraires ; mais il n'est pas difficile de faire intervenir une unité plus rationnelle. Ouvrons une fenêtre dans un amphithéâtre : la portion d'onde sonore à laquelle la fenêtre livre passage

(1) *Lecture-room*, *Fogg Art Museum*.

est définitivement perdue pour l'auditeur. L'absorption exercée par la fenêtre est complète.

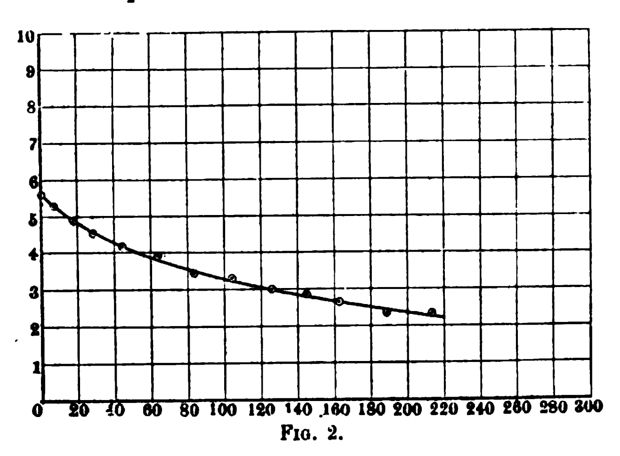


FIG. 2.

Nous prendrons donc pour unité d'absorption celle qui est exercée par une fenêtre ouverte de 1 mètre carré de surface, à cause des bruits extérieurs ; cette unité peut être moins commode dans la pratique que le mètre courant de coussins; mais, pour tourner la difficulté, il suffit d'avoir évalué une fois pour toutes l'absorption d'un coussin donné, par rapport à celle d'une fenêtre donnée, ce que l'on fera sans grande peine.

Il ne sera pas plus difficile de décomposer l'absorption totale exercée par la salle en ses éléments simples, en étudiant l'effet de l'addition de parois ou d'objets supplémentaires. Ainsi l'on pourra évaluer l'absorption de 1 mètre carré de boiserie, de revêtement de plâtre, de tenture d'une certaine espèce, etc. L'auteur trouve, par exemple, les coefficients d'absorption suivants :

Revêtement de pin dur	0,058
Verre	0,024
Cloison de briques cimentées	0,023

3. *Solution approchée.* — Dans ce troisième mémoire, l'auteur prouve la généralité de la formule :

$$t = \frac{k}{a + x}, \qquad (1)$$

relative à la durée du son résiduel, formule établie précédemment sur

un cas particulier. Il a opéré dans douze salles de formes variées construites avec des matériaux, et pourvues d'ameublements différents. Le volume de ces salles était compris entre 65 et 9.300 mètres cubes. Les coefficients k et a ont seuls varié. La formule (1) reste toujours applicable.

Le coefficient a peut être calculé *a priori*, si l'on a déterminé les coefficients d'absorption de toutes les matières formant les parois, et de toutes les pièces de l'ameublement de la salle.

Le coefficient k se montre très sensiblement indépendant de la forme des salles ; mais il est proportionnel à leur volume. On a en moyenne :

$$k = 0,171\text{V}.$$

Voici comment l'auteur se rend compte de cette curieuse proportionnalité : Considérons deux salles vides, semblables et formées des mêmes matériaux. Soient t et t' les durées de son résiduel, a et a', k et k', les coefficients correspondants. Les matériaux étant les mêmes, a et a' sont proportionnels aux surfaces des salles ou au carré des dimensions homologues. Mais le son est affaibli, à chaque réflexion dans un rapport constant, et, plus les réflexions sont fréquentes, plus la durée du son perceptible diminue ; t et t' sont donc en raison inverse de la fréquence des réflexions, c'est-à-dire proportionnels aux dimensions homologues des salles.

Or on a $t = \frac{k}{a}$, $t' = \frac{k'}{a'}$. Les fractions sont proportionnelles aux dimensions homologues, les dénominateurs aux carrés de ces dimensions ; les numérateurs k et k' sont donc eux-mêmes proportionnels aux cubes des dimensions homologues, c'est-à-dire aux volumes, comme l'expérience l'a établi.

4° *Loi de décroissement du son résiduel.* — Nous avons déjà dit que le décroissement de l'intensité sonore n'obéit pas nécessairement à une même loi, en tous les points d'une salle. L'oreille ou d'autres instruments enregistreurs indiquent souvent que l'intensité sonore résiduelle passe par une série de maximum et de minimum dépendant de circonstances compliquées.

Pour rester au même point de vue où il s'est placé dans les expériences précédentes, c'est-à-dire pour faire abstraction de ce qui est particulier et ne tenir compte que d'un effet moyen, l'auteur se borne à comparer, dans une même salle, les durées d'extinction de sons

d'intensité différente, toutes les autres conditions de l'expérience demeurant d'ailleurs invariables. Quatre tuyaux d'orgue identiques sont montés chacun sur une soufflerie indépendante; mais les valves peuvent être rendues solidaires, de telle sorte qu'on pourra les fermer toutes, d'un seul coup. Les expériences, consistant à mesurer la durée du son résiduel quand on fait parler simultanément un, deux, trois ou quatre tuyaux, furent faites d'abord dans une salle (1), où la durée résiduelle était particulièrement grande.

On trouva :

$$t_1 = 8{,}69 \text{ secondes}$$
$$t_2 = 9{,}14$$
$$t_3 = 9{,}36$$
$$t_4 = 9{,}55$$

La différence $t_0 - t_1$ pour un et deux tuyaux est sensiblement la moitié de la différence $t_4 - t_1$ pour un et quatre tuyaux. Cette différence est donc à peu près proportionnelle au logarithme de l'intensité initiale. En d'autres termes, l'intensité I du son est représentée par une exponentielle négative, ce qui était bien vraisemblable *a priori*. A l'instant où on cesse d'entendre le son, son intensité a atteint une valeur constante i très petite. On a donc, en désignant par I_0 l'intensité initiale correspondant à un seul tuyau :

$$i = I_0 e^{-mt_1} = 2I_0 e^{-mt_2} = 3I_0 e^{-mt_3} = 4I_0 e^{-mt_4},$$

d'où l'on tire les valeurs de m :

$$m = \frac{\log 2}{t_2 - t_1} = \frac{\log 3}{t_3 - t_1} = \frac{\log 4}{t_4 - t_1}.$$

On trouve ainsi :

$$m = \begin{cases} 1{,}54 \\ 1{,}62 \\ 1{,}61 \end{cases}$$

c'est-à-dire, en moyenne, 1,59. On en déduit:

$$I_0 = 1.000.000 i.$$

L'amphithéâtre de la bibliothèque de Boston, où avaient été réalisées ces mesures, était particulièrement mauvais au point de vue acoustique. Le mur d'arrière fut recouvert d'une couche épaisse de

(1) *Boston Public Library, Lecture-room.*

bourre de crin, et les expériences furent recommencées. On trouva :

$$t_1 = 3{,}65$$
$$t_2 = 3{,}85$$
$$t_3 = 3{,}96$$
$$t_4 = 4{,}07$$

ce qui donne :

$$m = 3{,}41, \qquad I_0 = 250.000i.$$

Enfin on reprit les expériences dans un cabinet attenant à l'amphithéâtre, de forme identique, mais beaucoup plus petit. On trouva :

$$t_1 = 4{,}01$$
$$t_2 = 4{,}20$$
$$t_3 = 4{,}29$$
$$t_4 = 4{,}38$$

d'où :

$$m = 3{,}76 \qquad I_0 = 3.800.000i.$$

On voit que l'intensité initiale I_0 correspondant à un seul tuyau varie largement d'une salle à une autre, ou, dans une même salle, quand on modifie les parois. Pour que les expériences relatives à la durée du son résiduel deviennent exactement comparables, il faut les réduire à une même valeur de l'intensité initiale, par exemple $I_0 = 1.000.000i$. On peut alors relier les valeurs de m aux autres données de l'expérience, à savoir le volume des salles, la surface des parois et leur pouvoir absorbant.

5° *Solution exacte.* — Soit E l'énergie émise par le tuyau d'orgue en une seconde, v la vitesse du son, p le chemin moyen parcouru entre deux réflexions. Dans cet intervalle, l'énergie émise par le tuyau est $\frac{p}{v}$ E.

Soit a le pouvoir absorbant total des parois, s leur surface. La portion réfléchie de l'énergie émise sera :
pour la première réflexion :

$$\frac{p}{v} E \left(1 - \frac{a}{s}\right).$$

pour la seconde :

$$\frac{p}{v} E \left(1 - \frac{a}{s}\right)^2,$$

pour l'ensemble de toutes les réflexions :

$$\frac{p}{v} \mathrm{E} \left\{ \left(1 - \frac{a}{s}\right) + \left(1 - \frac{a}{s}\right)^2 + \dots \right\}.$$

L'énergie totale contenue dans la salle à un moment donné sera donc :

$$\frac{p}{v} \mathrm{E} \frac{1 - \left(1 - \frac{a}{s}\right)^n}{1 - \left(1 - \frac{a}{s}\right)},$$

ou, à la limite, $\frac{p\mathrm{E}s}{va}\cdot$ L'intensité de son correspondant est, en désignant par V le volume de la salle, $\frac{p\mathrm{E}s}{v\mathrm{V}a}$.

Telle est la valeur de I_0, à l'instant où, le régime étant établi, on arrête le tuyau d'orgue. On voit que cette valeur est en raison inverse du pouvoir absorbant a des parois. C'est ainsi que, dans l'amphithéâtre de la bibliothèque de Boston, l'intensité I_0 s'est réduite dans le rapport de 250.000 à 1.000.000, c'est-à-dire au quart de sa valeur, quand on a revêtu de bourre de crin la paroi du fond de l'amphithéâtre.

La durée qui sépare deux réflexions étant $\frac{p}{v}$, on a $1 - \frac{a}{s} = e^{-m\frac{p}{v}}$ ou, puisque $1 - \frac{a}{s}$ est très petit, $m = \frac{av}{sp}\cdot$ Ainsi, pour l'amphithéâtre de la bibliothèque de Boston, $\frac{a}{s} = 0{,}037$, $p = 8$ mètres, par suite $m = 1{,}517$. L'expérience directe a donné 1,59 (Voir ci-dessus).

Connaissant la valeur de m ou celle de $\frac{a}{s}$, on peut déterminer la durée qui doit s'écouler à partir de l'excitation des tuyaux pour que l'intensité sonore dans la salle acquière, par exemple, les 0,99 de sa valeur limite. On trouve ainsi plus de trois secondes pour l'amphithéâtre de la bibliothèque de Boston avec sa paroi de fond nue.

C'est la durée minimum pendant laquelle le tuyau doit sonner avant chaque mesure de durée résiduelle du son.

Le reste du cinquième mémoire est consacré au développement des meilleures formules à employer pour tirer des données de l'expérience les valeurs des coefficients d'absorption, avec la plus faible erreur relative. Nous ne suivrons pas l'auteur dans le détail de ces calculs.

6. *Pouvoir absorbant d'un auditoire et autres données.* — Voici les tableaux résumant les expériences de l'auteur :

Pouvoirs absorbants de surfaces murales.

Fenêtre ouverte	1,000
Revêtement en pin dur	0,061
Plâtre sur châssis de bois	0,034
Plâtre sur châssis de fil métallique	0,033
Verre, simple épaisseur	0,027
Plâtre sur tuile	0,025
Briques réunies par du ciment de Portland	0,025

Pouvoir absorbant d'un auditoire.

Auditoire, par mètre carré	0,96
Auditoire, par personne	0,44
Femme isolée	0,54
Homme isolé	0,48

Il est digne de remarque qu'un auditeur isolé absorbe plus qu'un auditeur entouré d'autres, ce qui se comprend, d'ailleurs, à merveille.

Objets divers.

Peintures à l'huile, avec leurs cadres	0,28
Plantes d'appartement	0,11
Tapis-carpettes	0,20
Tapis orientaux extra-lourds	0,29
Cretonne	0,15
Rideaux	0,23
Revêtement de bourre de crin de 2cm,5 d'épaisseur, à 8 centimètres d'un mur	0,78
Liège de 2cm,5 d'épaisseur posé sur le sol	0,16
Linoleum posé sur le sol	0,12

Sièges, chaises et coussins.

Sièges en frêne plein	0,039
— — par place	0,0077
Sièges rembourrés crin et cuir	1,10
— — par place	0,28
Coussins de crin, par place	0,21

7. *Calculs avant la construction.* — Avec les données qui précèdent, on peut calculer *a priori* le pouvoir absorbant d'un amphithéâtre plein ou vide, avant même qu'il soit construit. L'auteur prend pour exemple la nouvelle salle de concert de Boston, qu'il compare à l'ancienne et à un édifice de Leipsig, où l'on donne aussi des concerts (*Leipsiggewandhaus*).

La nouvelle salle de concert de Boston, destinée à contenir à peu près le même nombre de spectateurs que l'ancienne, est faite sur le plan général de l'édifice de Leipsig; mais l'espace réservé aux sièges est plus considérable, de 70 0/0. Les matériaux aussi diffèrent; par suite, les deux édifices sont loin d'être une copie servile l'un de l'autre. On s'est proposé d'obtenir une durée de son résiduel aussi voisine que possible de celle qui caractérise l'édifice de Leipsig. Le tableau suivant est curieux à consulter; il donne le détail du pouvoir absorbant :

	Edifices de Leipsig.	Edifices de Boston ancien	Edifices de Boston nouveau
Plâtre sur châssis	73	100	34
Plâtre sur tuile	0	0	46
Verre	0,4	1,5	0,6
Bois	14	47	38
Draperies	18	0,6	0
Auditoire	667	1.052	1.135
Orchestre	38	38	38
Total	810	1.239	1.292

La durée calculée du son résiduel pour I_0 — 1.000.000i est :

Édifice de Leipsig	2,30
Ancienne salle de Boston	2,44
Nouvelle salle de Boston	2,31

Si l'on s'était borné à reproduire sur une plus large échelle la salle de Leipsig, la nouvelle salle de Boston aurait dû avoir 23.300 mètres cubes au lieu de 16.200 qu'elle a en réalité, et son pouvoir absorbant aurait été égal à 1.370 au lieu de 1.292. A ces nombres correspondrait une durée de son résiduel égale à 3,02 secondes, c'est-à-dire de 31 0/0 environ supérieure à ce qu'elle est en réalité.

On s'explique ainsi, au moins en partie, les mécomptes des architectes, qui se sont bornés à copier, en les amplifiant, des salles dont l'acoustique était réputée bonne, sans se préoccuper de l'effet de l'augmentation de volume et du changement de matériaux de construction ou d'ameublement.

Appareil de mesure des courbures et des éléments d'un système optique quelconque ;

Par R. Dongier [1].

La fabrication des bons objectifs photographiques exige, en cours d'exécution, la vérification des faces des lentilles qui les composent. Comme appareil de contrôle, il y a lieu de signaler le sphéromètre à flèche du professeur Abbe, qui, muni d'un microscope avec micromètre, fournit des lectures précises au $\frac{1}{1000}$ de millimètre près. L'élégante méthode du levier optique de M. Cornu [2] mérite une mention spéciale. Il est possible, en utilisant les phénomènes d'interférences [3], d'étudier, avec une précision plus grande encore, le profil des faces d'une lentille. Mais cette opération exige une installation relativement compliquée et une certaine habileté expérimentale. Dans la plupart des cas, comme il est inutile de pousser la précision au-delà d'une certaine limite, il est avantageux de disposer d'un instrument donnant rapidement les renseignements cherchés. C'est dans cette dernière catégorie que je classerai l'appareil dont je vais faire la description.

I. Cet instrument est d'un usage commode ; il permet la mesure rapide et très approchée des courbures des faces des lentilles, ainsi que des éléments (longueur focale, position des points nodaux) d'un système optique quelconque, convergent ou divergent.

Il comporte (*fig.* 1), comme accessoire essentiel, un viseur autocollimateur dont l'oculaire est remplacé par un microscope K pouvant être déplacé de *quantités mesurables*, dans la direction de son axe à l'aide du pignon denté M. On peut viser, avec le microscope, soit dans le plan focal de l'objectif D, soit au-delà de ce plan focal, soit en deçà jusqu'à une distance de cet objectif de l'ordre du triple de sa longueur focale. On obtient ainsi la mise au point des images, fournies par cet objectif, d'objets réels situés à des distances plus grandes que une fois et demie sa longueur focale et des images d'objets virtuels.

---

(1) Séance du 1er mars 1901.
(2) *J. de Phys.*, 1re série, t. IV, p. 7 ; 1875.
(3) Laurent, *J. de Phys.*, 2e série, t. V, p. 268 ; 1886.

La précision des pointés est considérablement augmentée, si l'oculaire positif dont est muni le microscope peut subir de petits mouvements autour d'un axe contenu dans le plan du réticule fixe visé

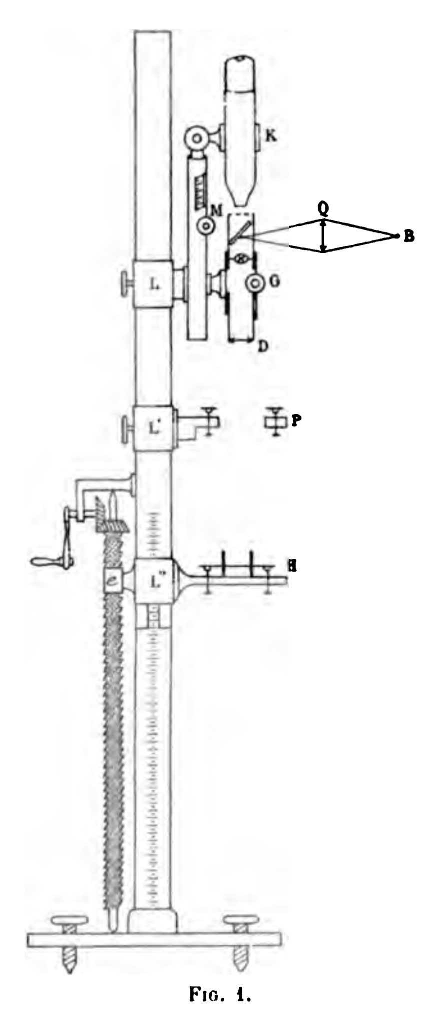


FIG. 1.

avec cet oculaire. On facilite ainsi l'observation des déplacements relatifs du réticule et de l'image, lorsque la mise au point n'est pas parfaite.

Suivant le cas, on se sert de l'un ou de l'autre des systèmes éclairants que voici :

Dans le premier (*fig.* 2), la lumière fournie par une source étendue B et émergeant de la lentille éclairante Q est réfléchie dans la direction de la lentille collimatrice D par la lame de verre A à faces planes et parallèles ayant moins de 1 millimètre d'épaisseur. On adopte, comme repère, tantôt la croisée des fils tendus sur l'ouverture O du diaphragme, tantôt la graduation tracée sur la face inférieure d'une lame de verre ; l'une ou l'autre peuvent être séparément introduites dans le champ de l'instrument à la même distance de l'objectif D.

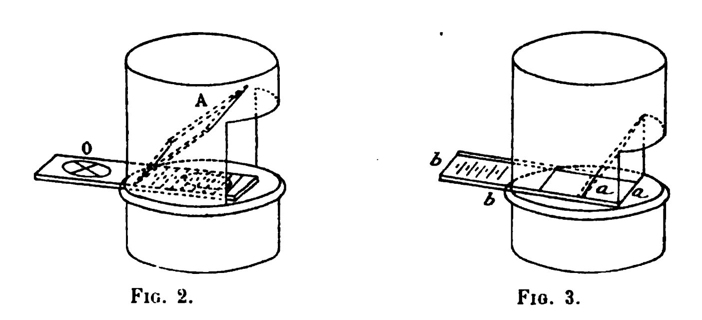


Fig. 2. Fig. 3.

Dans le deuxième (*fig.* 3) on évite la traversée de la lame de verre inclinée A, aux rayons lumineux qui pénètrent dans le microscope. Le système éclairant est formé d'un prisme à réflexion totale dont l'une des faces *aa*, sur laquelle sont tracés deux traits croisés, couvre la moitié de l'ouverture rectangulaire du diaphragme, tandis que l'autre moitié est ou bien libre avec deux fils du réticule tendus, ou bien recouverte par une lame de verre *bb*, dont la face inférieure porte une graduation et se trouve dans le même plan que la face du prisme.

Les tubes de chacun de ces modèles s'adaptent séparément sur le tube à tirage du collimateur, dont on peut faire varier la longueur en agissant sur le pignon denté G.

Le microscope et le collimateur sont reliés à un même collier L qui, embrassant la tige de support de l'appareil, peut être fixé à des hauteurs différentes.

La lumière, qui émerge du collimateur, rencontre la surface à étudier supportée par la plate-forme H. Cette plate-forme est reliée à un collier L″, qui peut glisser le long de la colonne supportant

l'appareil et à un écrou *e* dans lequel est engagée une vis sans fin verticale entraînant, par sa rotation, la plate-forme dans un mouvement de translation vertical et *mesurable*. Çette plate-forme peut recevoir, à volonté, un miroir plan argenté et un ensemble d'accessoires destinés à des usages divers, en particulier, à supporter des lentilles ou des objectifs composés. Elle peut être orientée de façon à renvoyer vers l'objectif D la portion centrale de la lumière réfléchie par la surface à étudier.

Lorsqu'on se propose la détermination des éléments d'un système optique, il est nécessaire de placer celui-ci entre le collimateur et la plate-forme H sur un disque P présentant une ouverture circulaire; le disque est relié à la colonne-support par un collier L′ avec vis de pression, et on peut l'abaisser ou l'élever plus ou moins ; on peut lui faire subir diverses inclinaisons destinées à modifier l'orientation du système optique par rapport au faisceau lumineux.

II. *Mesure de la courbure des surfaces d'une lentille.* — On emploie le système éclairant de la *fig.* 3. Le repère, tracé dans le voisinage du bord de la face *aa*, doit se trouver dans le plan focal de l'objectif D du collimateur. Pour l'y amener, on vise avec le microscope les fils qui sont tendus sur l'ouverture du diaphragme et qui se trouvent dans le plan du repère adopté. On dispose ensuite sur la plate-forme H et sur le trajet du faisceau lumineux une surface rigoureusement plane. On agit sur le pignon G jusqu'à voir dans le même plan que la graduation l'image du repère fournie par les rayons réfléchis.

La lumière émergeant du collimateur et provenant du point de repère marqué sur la face du prisme éclairant est ainsi constituée par un faisceau parallèle qui rencontre la face antérieure concave ou convexe de la lentille à étudier mise en H à la place du miroir plan; elle s'y réfléchit et concourt à la formation de l'image de ce repère. Cette image se trouve au foyer, c'est-à-dire au milieu du rayon de la surface réfléchissante. Afin d'éviter les déformations des images résultant du passage des rayons à travers la lame de verre *bb*, on retire celle-ci, puis on soulève le microscope à la plus grande distance possible de l'objectif D. Si, après cela, on le laisse fixe, son plan de visée P′ (*fig.* 4) ne varie pas; il en est aussi de même du plan conjugué P, du plan P′ par rapport à l'objectif D. On amène successivement dans le plan P, d'abord la surface réfléchissante de la lentille dont on repère le centre à l'aide d'une croix en traits fins tracés à l'encre de Chine ou

à l'aide de quelques grains de poudre de lycopode, puis le plan focal de cette surface, dans lequel se trouve l'image du point-repère adopté (1). La distance de ces positions, mesurée au moyen de la graduation de la colonne de support et du vernier fixé au collier L″, donne la valeur du demi-rayon de la surface observée.

Il y a lieu d'insister sur ce fait que le déplacement le long de la colonne montante fournit la mesure *directe* du demi-rayon de courbure, sans le secours d'aucune formule, et cela quelle que soit la position du plan P, pourvu que son conjugué P'_2 par rapport à l'objectif D se trouve dans la région qu'il est possible d'explorer en déplaçant le microscope.

La précision avec laquelle la surface réfléchissante ou son foyer peuvent être amenés dans le plan P dépend de la distance du plan P à l'objectif D. Elle augmente lorsqu'on rapproche le plan P

---

(1) Dans la pratique, il est important de ne pas confondre cette image produite par la réflexion sur la face antérieure de la lentille avec celle donnée par les rayons qui, pénétrant dans la lentille, reviennent vers la face d'entrée après réflexion sur la face postérieure.

Le procédé suivant permet de distinguer ces images l'une de l'autre. Pour cela, on regarde à l'œil nu, dans le champ de la surface de la lentille, les images d'une source lumineuse éloignée fournies par chacune des surfaces réfléchissantes. On couvre la moitié de la surface antérieure avec un écran (morceau d'étoffe ou de papier souple) qui s'y adapte exactement; on incline plus ou moins la lentille, dans un sens convenable et on observe la disparition derrière l'écran de chacune des images vues sur la portion non couverte de la lentille. L'image produite par la réflexion sur la face d'entrée disparaît à la limite de l'écran; l'image produite par les rayons réfléchis sur la face postérieure disparaît à la limite de l'ombre portée par l'écran, c'est-à-dire avant d'avoir atteint le bord de cet écran. Dans le premier cas, en effet, la trace sur la surface réfléchissante du cône des rayons qui arrivent dans l'œil est commune aux rayons incidents et aux rayons réfléchis; l'écran supprime les rayons réfléchis en même temps qu'il empêche les rayons incidents d'atteindre la surface réfléchissante. Dans le second cas, la trace des rayons réfléchis qui arrivent dans l'œil est différente de celle des rayons incidents correspondants; les rayons réfléchis sont supprimés lorsque l'écran intercepte les rayons incidents correspondants, et cela a lieu avant que la trace des rayons réfléchis ait atteint le bord de l'écran.

Il ne suffit pas de distinguer ces images à l'œil nu; il faut connaître les grandeurs relatives de leurs distances à la lentille, afin que la visée à travers le microscope ait lieu sans incertitude. Toute image réelle est située en avant de la lentille et subit, par l'inclinaison de la lentille, un déplacement de même sens qu'un objet situé du même côté et invariablement lié à cette lentille. Une image virtuelle subit un déplacement de même sens qu'un objet invariablement lié à la lentille et situé en arrière; pour une même inclinaison de la lentille, ce déplacement est d'autant plus marqué que l'image est plus éloignée de la lentille. Ces diverses observations suffisent pour permettre la visée, avec certitude, des différentes images à travers le microscope.

du foyer F [1] ; mais alors le plan P′ s'éloigne de la lentille D. Avec un appareil donné, on obtient les meilleures conditions de sensibilité lorsque le microscope est le plus éloigné possible de l'objectif D. La mise au point est d'ailleurs facilitée et rendue plus rigoureuse par l'existence d'une croisée de fils de réticule dans l'oculaire du microscope.

Lorsque la longueur focale de la surface réfléchissante est plus grande que le déplacement possible de la plate-forme H, on peut déterminer cette grandeur en laissant *fixe* la surface réfléchissante et en déplaçant le microscope.

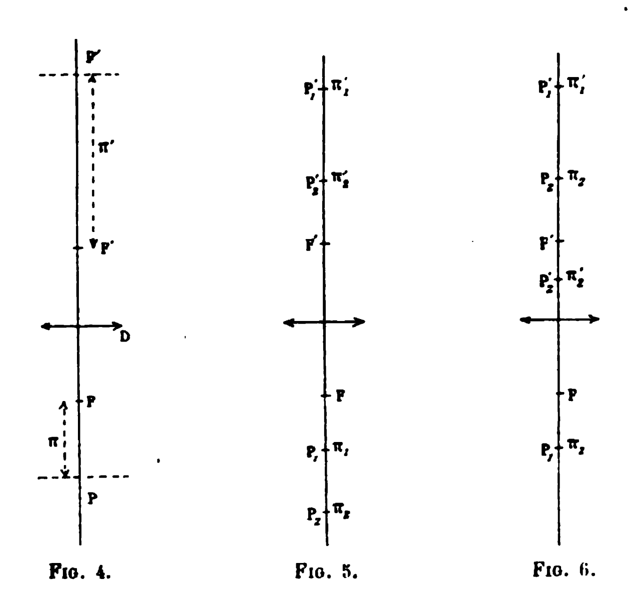


Fig. 4. Fig. 5. Fig. 6.

Il y a deux cas à considérer, suivant que la surface réfléchissante est *convexe* ou *concave*.

Lorsque la *surface réfléchissante est convexe*, on mesure les lon-

---

(1) Cela résulte évidemment de la relation $\pi\pi' = f^2 (\pi = FP,\ \pi' = F'P')$, d'où on déduit $\frac{d\pi'}{d\pi} = -\frac{\pi'}{\pi}$. L'incertitude constante $d\pi'$ due au pointé du microscope, entraîne une incertitude $d\pi$ de la position de la colonne montante d'autant plus faible en valeur absolue que le rapport $\frac{d\pi'}{d\pi}$ ou $\frac{\pi'}{\pi}$ est plus grand. Ce rapport $\frac{\pi'}{\pi}$ est le plus grand possible lorsque le plan P est le plus rapproché de l'objectif D.

gueurs $\pi'_2 = P'_2F'$ et $\pi'_1 = P'_1F'$ (*fig.* 5), dont il faut soulever le microscope à partir de la position de visée de la croisée des fils de réticule tendus sur la seconde moitié du diaphragme pour mettre au point successivement le plan focal de la surface situé à la distance π_1 du foyer F, puis la surface réfléchissante elle-même représentée par un trait à l'encre de Chine ou par quelques grains de lycopode et située à la distance π_2 du foyer F. Les relations $\pi_1\pi_2 = f_2$ et. $\pi'_1\pi'_2 = f^2$ conduisent à la formule :

$$\pi_2 - \pi_1 = f^2\left(\frac{1}{\pi'_1} - \frac{1}{\pi'_2}\right).$$

La longueur focale f est déterminée une fois pour toutes.

Lorsque la *surface réfléchissante est concave*, et lorsque la plate-forme est à une distance convenable de l'objectif D, le foyer de la surface réfléchissante est au-delà de cet objectif en P_2, tel que $\overline{P_2F} = \pi_2$ en valeur absolue.

Les images P'_1 et P'_2 (*fig.* 6) de la surface réfléchissante et de son foyer fournies par l'objectif D sont de part et d'autre du foyer F' de l'objectif D, foyer qui se trouve dans le plan de la face de sortie du prisme éclairant.

Pour faire la mesure dans ce cas, on notera, à partir de la position de visée directe de la croisée des fils du réticule située en F', d'abord la longueur π'_2, dont il faut abaisser le microscope pour viser l'image du plan focal de la surface concave représentée par le repère de la face du prisme et ensuite la longueur π'_1, dont il faut soulever le microscope pour obtenir la visée de l'image de la surface réfléchissante elle-même, sur laquelle on a tracé une croisée de traits fins à l'encre de Chine et déposé quelques grains de poudre de lycopode. On a dans ce cas:

$$\pi_1 + \pi_2 = f^2\left(\frac{1}{\pi'_1} + \frac{1}{\pi'_2}\right).$$

En terminant l'exposé de ces deux cas particuliers, il est bon de faire remarquer que la précision de la mesure, toujours moindre que dans le cas général, varie avec la longueur du rayon de courbure qu'il s'agit de déterminer.

III. *Détermination expérimentale des éléments d'un système optique.* — Un grand nombre de méthodes ont été décrites à ce sujet(1).

(1) Silbermann, *Moser Pogg. Ann.*, 1844; Nerz, *Pogg. Ann.*, 1845; Webr, *Forts-*

Je ne veux retenir que le procédé de M. Cornu [1], d'une grande précision pour l'étude des systèmes convergents, et celui de M. Mébius [2], pour les systèmes divergents. Le mode expérimental de M. Mébius dérive de celui de M. Cornu; mais il exige une lentille convergente auxiliaire et la visée successivement avec un microscope et une lunette astronomique.

L'appareil décrit plus haut permet la mesure des éléments qui interviennent dans les formules de Newton et dont M. Cornu a fait usage, c'est-à-dire, d'après la *fig.* 7 se rapportant à un système

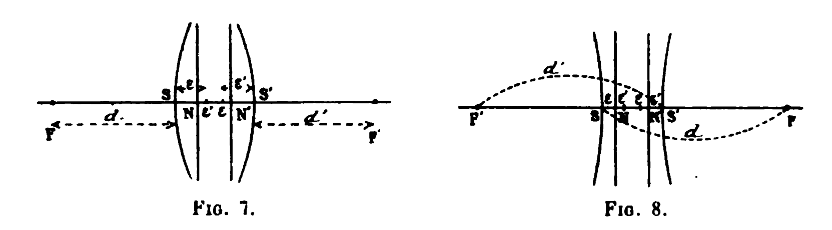


Fig. 7. Fig. 8.

convergent et la *fig.* 8 se rapportant à un système divergent, la distance d' de la face S' au foyer F', la distance ε' à la face S' de l'image Σ de la face S fournie par le système optique, la distance d de la face d'entrée au foyer F, la distance ε à la face S de l'image de S' fournie par le système.

Les valeurs du carré de la longueur focale se déduisent de l'équation de Newton:

$$d\,(d' + \varepsilon') = d'\,(d + \varepsilon) = f^2,$$

pour le système convergent;

$$d\,(d' - \varepsilon') = d'\,(d - \varepsilon) = f^2$$

pour le système divergent.

Les grandeurs f, d, d' ainsi déterminées permettent de repérer les

---

chritte der Physik, 1859; Valérius, *Fortschritte der Physik*, 1865; Donders, *Fortschritte der Physik*, 1868; Meyerstein, *Wied. Ann.*, 1877; Hoppe, *Pogg. Ann.*, 1876; Kerber, *Z. S. für Inst. Akad.*, I, p. 67; Pscheidl, *Sitzunsberichte der Wiener Akad.*, 1866, et *Beiblätter*, 1887; Hasselberg, *Bulletin de l'Académie des Sciences de Saint-Pétersbourg*, 1888, et *Beiblätter*, 1888; Laurent, *J. de Phys.*, 2e série, t. IV, p. 361; 1885.

(1) Cornu, *J. de Phys.*, 1re série, t. VI, p. 276 et 308; 1877.

(2) Mébius, *J. de Phys.*, 2e série, t. IX, p. 511; 1890.

foyers et les points nodaux du système optique par rapport aux faces d'entrée et de sortie.

Système optique convergent. — On utilise le système éclairant de la *fig.* 2. — Le collimateur est réglé pour l'infini; la croisée E des fils du réticule se trouve dans le plan focal de l'objectif. On place le système optique sur le support P, et on l'oriente de façon à diriger le faisceau lumineux qui en émerge vers le miroir plan argenté qu'on a disposé sur la plate-forme H. Cette plate-forme est orientée de façon à renvoyer vers le système optique, l'objectif D et le microscope, la lumière réfléchie par le miroir.

Le microscope vise la croisée des fils du réticule E au travers de la lame inclinée A ; en agissant sur la vis sans fin, on fait monter ou descendre la plate-forme H jusqu'à voir nettement dans le plan de la croisée des fils l'image de cette croisée de fils fournie par les rayons réfléchis en même temps que l'image de quelques grains de poudre de lycopode répandus sur le miroir plan de la plate-forme, ou encore l'image d'une graduation tracée sur ce miroir. La mise au point est facilitée par l'observation simultanée des fils du réticule de l'oculaire du microscope. Le plan du miroir est ainsi amené dans le plan focal du système optique.

La quantité dont il faut soulever la plate-forme pour obtenir le contact du miroir avec la face inférieure du système optique représente la longueur d. On vérifie l'existence du contact, en visant, avec le microscope soulevé à une hauteur convenable, l'image de la face inférieure du système optique, représentée par une croisée de traits fins tracés à l'encre de Chine et par quelques grains de poudre de lycopode. La position du contact correspond à l'apparition dans le champ de visée et à la mise au point de quelques grains de poudre de lycopode répandus sur le miroir.

Dans le cas où la face inférieure est concave, on obtient le contact en remplaçant le miroir par un palpeur demi sphérique de petit rayon argenté sur sa surface et fixé à la plate-forme H.

Cette opération une fois faite, on dispose le système optique sur la plate-forme H, le microscope étant le plus éloigné possible de l'objectif D. Tout en laissant le microscope fixe, on détermine la distance ε' des deux positions de cette plate-forme, qui permettent les mises au point successives de la surface S′ et de l'image Σ′ de la surface S fournie par le système optique (les repères de ces surfaces sont éclairés par la lumière réfléchie sur le miroir plan).

On effectue les mêmes opérations après avoir retourné face pour face le système optique. On obtient ainsi les grandeurs d' et ε (1).

Système optique divergent. — On vise avec le microscope dans le plan du diaphragme de l'éclaireur de la *fig.* 3. On dispose le système optique divergent au-dessus de la surface plane réfléchissante qui, dans les expériences précédentes, a servi au réglage du collimateur pour l'infini. La plate-forme H, qui supporte le tout, est orientée de manière à renvoyer à travers le viseur la lumière réfléchie par le miroir plan.

En agissant sur la crémaillère G du collimateur, on éloigne l'objectif D du diaphragme jusqu'à obtenir, dans le plan de ce diaphragme, l'image fournie par les rayons réfléchis du repère tracé sur la face *aa* du prisme éclairant. Il en est ainsi lorsque l'image conjuguée de ce repère fournie par l'objectif D se trouve dans le premier plan focal du système optique étudié. Les rayons provenant de ce point de repère fournissent, en effet, au-delà du système optique, un faisceau de rayons parallèles qui se réfléchissent sur le miroir plan et donnent un faisceau qui retourne vers la croisée des fils du réticule en suivant la trajectoire des rayons incidents.

La longueur d est celle dont il faut abaisser la plate-forme, le microscope et la lentille collimatrice restant fixes, pour obtenir la mise au point de la face supérieure du système optique marquée d'une croisée de traits fins à l'encre de Chine et de quelques grains de poudre de lycopode. La longueur ε' est la distance qui sépare les mises au point successives des surfaces supérieure et inférieure du système optique.

En retournant face pour face le système optique et en effectuant les mêmes opérations que précédemment, on obtient les grandeurs d' et ε.

IV. La précision obtenue dans tous les cas est évidemment subordonnée à la perfection des images fournies par le système optique.

---

(1) En disposant, dans le plan focal de l'objectif D, la graduation sur verre de l'éclaireur *fig.* 2 ou 3, on peut obtenir rapidement et d'une manière approchée la longueur focale d'un système optique. Il suffit de viser, dans le plan focal du système optique, une graduation identique à celle de l'éclaireur. Avec le microscope visant dans le plan du diaphragme, on note les nombres n et n' des divisions qui occupent la même largeur. La longueur focale inconnue x est donnée par la relation $\frac{x}{n} = \frac{f}{n'}$, en fonction de la longueur focale f de l'objectif déterminé une fois pour toutes.

Elle dépend aussi des valeurs relatives de la longueur focale du collimateur et des grandeurs à mesurer.

Le réglage du collimateur pour l'infini doit être effectué avec soin, en utilisant une surface réfléchissante rigoureusement plane. Chaque cas particulier comporte une discussion. Par exemple, l'erreur ε_2, introduite dans la mesure de la longueur focale F d'un système optique convergent par un défaut de réglage ε_1 du collimateur de longueur focale f, est représentée par :

$$\varepsilon_2 = \frac{F^2}{f^2} \cdot \varepsilon_1$$

Avec l'appareil dont je me suis servi, où $f = 8$ centimètres, deux mesures successives d'un objectif Berthiot après des réglages indépendants ont donné :

$$F = 42^{cm},61 \quad \text{et} \quad F = 42^{cm},65.$$

La différence 0,04 comporte une erreur environ vingt-cinq fois plus faible dans le réglage du collimateur. Ce résultat justifie l'emploi de collimateurs interchangeables, à longueurs focales différentes, permettant, dans chaque cas particulier, d'effectuer les mesures dans les meilleures conditions.

Nouvelles recherches sur les rayons de Röntgen;

Par M. G. Sagnac (1).

1. *Absorption des rayons secondaires par l'air.* — Les rayons secondaires issus de la transformation des rayons X par des métaux tels que le platine, le plomb, le fer, etc., sont absorbés par l'air beaucoup plus que les rayons X dont ils proviennent. J'ai constaté cette importante propriété d'abord indirectement en étudiant l'affaiblissement de l'action photographique ou électrique, lorsque la distance comprise entre la source de rayons secondaires et le récepteur va en augmentant. J'ai fait ensuite des expériences directes en modifiant seulement la pression de l'air qui sépare la source de rayons secondaires et le récepteur photographique ou électrique. Voici une expérience directe faite avec l'électroscope :

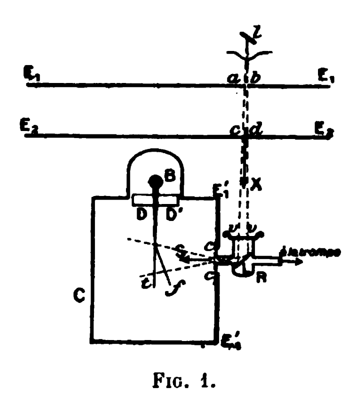


Fig. 1.

Dans un petit récipient en verre R (*fig.* 1) communiquant avec une trompe à eau, est disposé un petit miroir L métallique qui reçoit des rayons X d'un tube un peu mou à travers une paroi *vv* assez transparente, formée d'une peau de vessie soutenue par une toile métallique. Le récipient R porte une tubulure latérale que termine un petit plateau métallique *cc* soudé à la paroi $E'_1E'_1$ de l'électroscope C. Le centre du plateau *cc* est percé suivant un orifice circulaire de 1 centimètre de diamètre; une très fine toile métallique de laiton, soudée

(1) Séance du 4 janvier 1901. — Voir *Séances de la Société Française de Physique*, année 1898, p. 115.

au bord du plateau *cc*, en recouvre l'orifice circulaire et supporte une pellicule de collodion, de 3 microns seulement d'épaisseur, collée par ses bords au plateau *cc* avec du collodion plus épais. Dès que les rayons secondaires du miroir L sont sortis du récipient R à travers la mince couche de collodion, ils se propagent dans le champ électrique de l'électroscope, dont ils rendent l'air conducteur de l'électricité, et déchargent ainsi la feuille électrisée *f* sans avoir subi d'autre absorption que dans la mince pellicule et dans les $4^{cm},5$ environ d'air compris entre cette pellicule et le centre du miroir rayonnant L. Avec la trompe à eau, on raréfie l'air autour du miroir L et l'on observe l'action électrique des rayons secondaires en suivant, comme d'habitude, le déplacement de la feuille *f* au moyen d'un viseur à court foyer muni d'un oculaire micrométrique; on laisse ensuite rentrer l'air dans le récipient et l'on constate alors que l'action électrique des rayons secondaires a notablement diminué, si le miroir L est formé d'un métal lourd tel que le fer ou le nickel, l'étain et surtout le platine, le plomb. L'action reprend sa valeur primitive si l'air est ramené à la raréfaction primitive. Ainsi l'action électrique des rayons secondaires émis par un miroir L de platine était divisée par 2 quand la pression de l'air du récipient R s'élevait de $2^{cm},8$ à $21^{cm},8$ de mercure; elle reprenait sa valeur primitive quand la pression primitive était rétablie dans le récipient. On va voir que le platine émet réellement des rayons secondaires encore plus absorbables que ce premier résultat ne semble le montrer.

2. *Hétérogénéité des faisceaux de rayons secondaires.* — L'action électroscopique, radiographique ou radioscopique d'un faisceau de rayons secondaires issu d'un corps quelconque subit, quand le faisceau est transmis par une épaisseur déterminée d'un certain milieu, un affaiblissement d'autant moindre que les milieux supplémentaires déjà traversés par le faisceau sont plus nombreux et plus épais. En particulier, les actions des rayons secondaires transmis par des épaisseurs d'un milieu défini, qui croissent en progression arithmétique, ne vont point en décroissant en progression géométrique, comme il devrait arriver forcément, si le faisceau était homogène à la manière d'un faisceau de lumière monochromatique. En s'aidant de l'analogie optique, on peut exprimer ce résultat comme le résultat semblable obtenu avec les rayons X, en disant : Le faisceau secondaire étudié dans chaque expérience se comporte comme un mélange de rayons divers inégalement pénétrants ; une série d'écrans successifs *filtrent*

ces divers rayons en absorbant surtout les uns et laissant passer surtout les autres, qui forment un faisceau moins actif et plus pénétrant que l'ensemble du faisceau incident [1].

Les filtrations successives diminuent l'hétérogénéité du faisceau, sans cependant la supprimer. J'ai trouvé, par exemple, que, pour un faisceau secondaire émané du *zinc* et déjà filtré par 20 centimètres d'air, une feuille de mica d'épaisseur de 35 microns, placée entre le zinc et l'électroscope, divisait l'action électroscopique du faisceau par 1,71 ; mais une seconde lame identique interposée ensuite sur le trajet du faisceau divisait l'action électrique par 1,58 seulement.

De même, j'ai trouvé que des couches d'air atmosphérique d'égale épaisseur, ajoutées successivement entre le métal rayonnant L et l'électroscope C, sont de plus en plus transparentes.

Dans l'expérience de la *fig.* 1, des rentrées successives de masses d'air égales dans l'atmosphère raréfiée qui entoure le miroir L réduisent de moins en moins l'action électrique des rayons secondaires. Ainsi, quand la pression de l'air du récipient R, primitivement égale à $2^{cm},8$ de mercure, subissait trois augmentations successives de $9^{cm},5$ de mercure, l'action électrique des rayons secondaires du platine était divisée successivement par les nombres décroissants : 1,7, 1,2 et 1,1 ; enfin, la pression ainsi amenée à $31^{cm},3$, passant d'un seul coup à 76 centimètres, l'action électrique secondaire ne subissait plus qu'une diminution relative voisine de $\frac{1}{100}$.

Si l'on admet que l'absorption par une même masse d'air est indépendante de la pression du gaz [2], les épaisseurs d'air de $4^{cm},5$ sous la pression de $2^{cm},8$ ou bien sous la pression de $9^{cm},5$ équivalent respectivement à $0^{cm},16$ ou bien à $0^{cm},55$ d'air à la pression atmosphérique ; alors on peut dire que, même supposés déjà filtrés par $0^{cm},16$ d'air et une pellicule de collodion de 3 microns, les rayons secondaires du platine exerceraient une action électroscopique 1,7 fois plus faible, quand ils auraient traversé une simple couche d'air supplémentaire de $0^{cm},55$ d'épaisseur.

Il y a des rayons secondaires bien plus absorbables encore : A

---

[1] Dans cette analogie optique, on admet implicitement que les divers rayons d'un faisceau secondaire coexistent sans s'altérer mutuellement.

[2] Cela revient à admettre que l'absorption est proportionnelle au nombre des molécules de gaz rencontrées par le faisceau de rayons, quelles que soient les distances mutuelles des molécules.

partir de $2^{cm},8$ de pression, une augmentation de pression de $0^{cm},8$ seulement réduisait l'action électroscopique des rayons secondaires du miroir L de platine aux $\frac{9}{10}$ de sa valeur primitive; or cette variation de pression équivaudrait à la traversée d'une couche d'air à la pression atmosphérique de $0^{cm},047$ seulement; avec le coefficient de transmission défini par le résultat précédent, on trouve que les deux premiers millimètres d'air à la pression atmosphérique réduiraient l'action à la fraction $\left(\frac{9}{10}\right)^4$, soit aux $\frac{2}{3}$ de sa valeur primitive, c'est-à-dire supprimeraient $\frac{1}{3}$ de l'action de décharge des rayons secondaires. Or ce nombre ne s'applique réellement qu'à l'ensemble du faisceau secondaire, et non pas aux rayons homogènes les plus absorbables de ce faisceau, et, d'autre part, le faisceau expérimenté a été dépouillé vraisemblablement d'une notable partie de ses rayons les plus absorbables en traversant la pellicule de collodion de 3 microns et les $4^{cm},5$ d'air à la pression de $2^{cm},8$ de mercure, qui équivalent à $0^{cm},55$ d'air à la pression atmosphérique. Le résultat ainsi calculé n'est donc qu'une limite très inférieure de l'absorption des rayons secondaires du platine par les premières couches d'air à la pression atmosphérique adjacentes au métal nu; on peut dire que le premier millimètre d'air atmosphérique adjacent au platine enlève aux rayons secondaires de ce métal une grande partie de leur activité électrique. L'absorption est bien moins importante avec les rayons secondaires de l'étain, du fer et du nickel; dans les conditions de l'expérience, elle est presque insensible avec ceux du zinc et du cuivre.

L'énergique filtration par l'air des rayons secondaires, tels que ceux du platine, du plomb, permet de comprendre pourquoi les rayons secondaires de tels métaux, lorsqu'ils sont déjà transmis par plusieurs centimètres d'air, sont à peine affaiblis par une mince feuille d'aluminium battu, tandis que la même feuille supprime une notable partie de l'action électrique des rayons secondaires des mêmes métaux qui n'ont pas encore été filtrés par l'air; ce dernier fait se constate au moyen du dispositif de la *fig.* 2.

Si l'on dispose en M un miroir d'aluminium [1], puis un miroir

---

(1) Pour plus de détails, cf. G. Sagnac. *De l'optique des rayons de Röntgen et des rayons secondaires qui en dérivent.* Paris, Gauthier-Villars, 1900; p. 94.

de platine, la différence des deux actions de décharge exercées dans les deux cas par les rayons X qui frappent la surface M représente assez exactement l'effet dû aux rayons secondaires du platine. Or

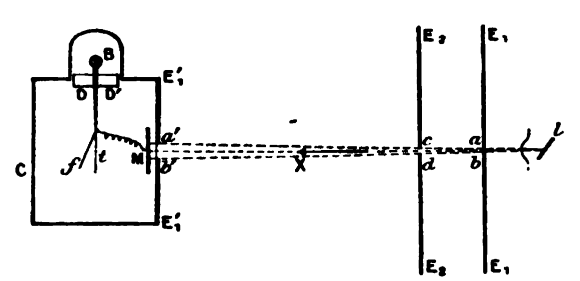


Fig. 2.

cet effet du platine est réduit à environ moitié si l'on recouvre la surface M du miroir de platine avec une feuille d'aluminium d'épaisseur voisine du micron.

Les expériences relatives à l'action radiographique des rayons secondaires fournissent des résultats analogues [1].

Les diverses expériences radiographiques ou électroscopiques s'accordent ainsi à montrer que les rayons secondaires sont très hétérogènes; les différents milieux qu'ils traversent les filtrent en ne laissant passer que les rayons les plus pénétrants. Les différents rayons secondaires émis simultanément par un même corps présentent une échelle de pouvoirs de pénétration divers, particulièrement étendue pour les éléments comme le fer, le nickel, l'étain et surtout le platine, le plomb. Les rayons les moins pénétrants des faisceaux émis par le platine, le plomb, sont très affaiblis par une épaisseur d'aluminium de l'ordre du micron, par une épaisseur d'air de l'ordre du millimètre, par une feuille de papier noir; ils produisent à eux seuls une grande partie de l'action électrique ou radiographique des rayons secondaires de ces éléments; de telles épaisseurs d'aluminium ou d'air affaiblissent, au contraire, très peu l'action électrique ou radiographique des rayons du zinc ou du cuivre. Une fois dépouillés de cette partie, la plus absorbable et la plus active, les rayons secondaires sont plus pénétrants, moins actifs et continuent à s'affaiblir en traversant, par exemple, les millimètres d'air suivants;

(1) Pour plus de détail, cf. G. Sagnac, *De l'optique des rayons de Röntgen et des rayons secondaires qui en dérivent*. Paris, Gauthier-Villars, 1900; p. 94.

comme nous avons vu pour les rayons du fer, ils s'affaiblissent encore parfois notablement dans les centimètres d'air suivants ; ils deviennent graduellement aussi pénétrants que les rayons X qui les ont produits. On comprend très bien maintenant que cet affaiblissement par transmission dans l'air, le papier noir, l'aluminium, etc., s'exerçant très inégalement sur les faisceaux secondaires émis par divers corps sous l'influence du même faisceau de rayons X, l'ordre de divers corps au point de vue de leur activité secondaire puisse être bouleversé d'une expérience à l'autre. J'en ai donné ailleurs (1) des exemples pour l'action électrique; de même l'action radiographique du plomb, par exemple, au moins égale à celle du cuivre tant que les métaux sont placés contre la couche sensible nue d'une plaque photographique recevant les rayons X par sa face verre, lui devient considérablement inférieure, quand la couche sensible est recouverte de papier noir ou d'aluminium mince. Les expériences de ce genre peuvent être regardées comme un moyen d'étudier la composition des divers faisceaux secondaires.

3. *Résultats relatifs à des corps divers.* — Les coefficients de transformation c, obtenus pour différents corps dans les mêmes conditions, en particulier avec un même faisceau de rayons X et une même lame filtrante A, permettent de comparer les degrés de transformation des rayons secondaires que ces différents corps envoient dans l'électroscope (2). Les rayons secondaires reçus par l'électroscope sont dépouillés par l'air et les divers milieux traversés, avant d'atteindre la face interne de l'électroscope, de leur partie la plus absorbable et la plus transformée, et cette absorption élective est surtout importante pour les rayons de métaux tels que le plomb, le platine. Aussi, quand les métaux comparés rayonnent à une distance suffisante dans l'air, les rayons du plomb et du platine reçus par l'électroscope sont-ils beaucoup moins transformés et plus pénétrants que ceux du zinc, du cuivre, par exemple. Mais, quand on diminue graduellement l'épaisseur d'air traversée par les rayons, le platine envoie dans l'électroscope des rayons de moins en moins pénétrants, dont le coefficient de transformation dépasse bientôt considérablement ceux du zinc, du cuivre. J'ai toujours constaté que, si un métal dépassait

(1) *Loc. cit.*, p. 84.
(2) Cf. *Séances de la Société Française de Physique*, *loc. cit.*.

ainsi un autre métal, l'ordre de ces deux métaux ne changeait plus quand l'épaisseur d'air traversée diminuait encore.

J'ai ainsi trouvé, pour un certain nombre de métaux, un *ordre limite* des coefficients de transformation décroissants, pour les épaisseurs d'air de plus en plus petites traversées par les rayons secondaires. Pour les métaux étudiés, cet ordre limite coïncide avec l'ordre limite des activités électriques décroissantes. C'est à la fois l'ordre limite des pouvoirs de pénétration croissants et des coefficients de transformation décroissants ; ainsi, quand on emploie la méthode du condensateur (*fig.* 2) et qu'on dispose sur l'armature MM une feuille mince d'aluminium, on réduit beaucoup la vitesse de décharge du condensateur, si l'armature MM est en platine ou en plomb, moins si elle est en fer ou nickel, et moins encore si elle est en zinc, en cuivre. Cela veut dire que les métaux qui transforment le plus émettent, en général, les rayons secondaires les plus absorbables et les plus actifs.

Les éléments qui transforment notablement les rayons X communiquent cette propriété aux mélanges ou aux composés qui en renferment sans que l'état physique ni l'état de combinaison paraissent influer notablement. Ainsi l'oxyde de cuivre CuO et l'oxyde de nickel NiO, à l'état pulvérulent, transforment les rayons X, moins toutefois que les métaux cuivre et nickel, ce qui peut s'expliquer par l'absorption que les rayons émis par le cuivre et le zinc éprouvent de la part de l'oxygène combiné au métal et relativement très peu actif. D'ailleurs, le nickel, plus actif que le cuivre, communique à son oxyde un pouvoir de transformation et une activité plus grande que ceux de l'oxyde de cuivre. Il en résulte que l'activité d'un mélange ou d'un composé n'est pas en relation générale avec sa densité. Par exemple, l'azotate d'urane, grâce à l'uranium qu'il renferme, est bien plus actif que l'aluminium, et cependant sa densité 2,8 diffère peu de la densité 2,7 de l'aluminium. Les corps très légers sont, il est vrai, souvent très peu actifs et n'émettent que des rayons secondaires sensiblement aussi pénétrants que les rayons X générateurs. Mais cette remarque n'est vraie que pour des corps, comme la paraffine, qui renferment seulement dans leur composition des éléments très peu actifs ; encore faut-il prendre garde à des traces d'impuretés très actives enfermées dans un corps par lui-même très peu actif tant qu'il est pur [1]. La propriété d'*activité secondaire* se

[1] Voir ci-après § 4.

présente donc surtout comme une *qualité atomique* qui, pour les sept éléments ci-après, décroît dans l'ordre déjà indiqué :

	Pt	Sn	Ni	et Fe	Zn	Cu	Al
Poids atomique....	195	118	58,7	56,0	65	63,3	27
Densité...........	21,5	7,3	8,9	7,9	7,1	8,9	2,6

On voit que l'étain est plus actif que le fer et le cuivre, bien qu'étant plus léger ; de même le fer et le zinc passent avant le cuivre. D'autre part, le nickel et le fer sont nettement plus actifs que le zinc et le cuivre, qui ont des poids atomiques plus élevés. Mais le nickel et le fer, qui ont des propriétés chimiques voisines et sont considérés comme éléments *analogues*, ont des activités secondaires sensiblement égales.

4. *Application à la chimie.* — L'ordre limite d'activité secondaire, que j'ai défini pour quelques éléments, permettra de faire une comparaison de l'ensemble des éléments chimiques d'après un nouveau caractère spécifique. Cette comparaison semble dès à présent dépendre, comme la *classification chimique* naturelle de J.-B. Dumas et de Mendeleef, des analogies chimiques aussi bien que de la grandeur du poids atomique.

L'activité électrique secondaire permet, d'autre part, de rechercher une petite proportion d'un élément assez actif disséminé dans un corps relativement peu actif par lui-même. Ainsi, en comparant des échantillons d'aluminium de provenances diverses, j'ai trouvé que leurs activités secondaires observées dans les mêmes conditions étaient très différentes, dans le rapport de 1 à 2 et même de 1 à 6, lorsque le tube focus employé était assez *mou* et émettait des rayons X assez peu pénétrants ; or les échantillons les plus actifs contenaient seulement 2 ou 3 0/0 de métaux relativement très actifs (cuivre, fer) de plus que l'aluminium le moins actif. Des mesures successives permettent de déceler ainsi nettement 1 0/0 de cuivre ajouté à un aluminium, et il est évident qu'on irait beaucoup plus loin en employant une méthode d'opposition ou si le métal recherché était plus actif que le cuivre (1). En ce qui concerne l'aluminium, la grande

(1) Il conviendra, pour la recherche des éléments très lourds à rayons secondaires très absorbables par l'air, de former, avec le corps où l'on recherche l'élément étranger, l'armature M d'un condensateur recevant un faisceau de rayons X (*fig* 2). Il sera possible d'instituer une *méthode de zéro* en employant un second condensateur semblable au premier, dont le corps à comparer à M formera l'armature M' frappée par les rayons X ; les armatures M et M' seront

importance des petites quantités de cuivre, fer, etc., qu'il peut renfermer rend impossible d'attribuer des valeurs précises aux diverses propriétés des rayons secondaires qu'il émet, tant que l'on ne possédera pas un échantillon très pur de ce métal. L'invariabilité de l'activité secondaire dans des conditions déterminées sera l'un des caractères à exiger d'un *corps pur*.

De là aussi une méthode pour rechercher de petites quantités d'un élément soit déjà bien connu, soit non encore isolé ou tout à fait nouveau, à la condition seulement que l'élément recherché soit notablement plus actif que le corps dans lequel il est disséminé. Cette méthode serait analogue à la méthode remarquable qui a permis à M. et Mme Curie de découvrir de très petites quantités d'éléments nouveaux *spontanément* actifs, le polonium et le radium, dans les minerais d'urane et de thorium (1). Elle serait généralement bien moins sensible ; d'un autre côté, elle serait applicable à un plus grand nombre de cas, puisque la plupart des métaux lourds présentent un très notable pouvoir de transformation et une émission secondaire très active électriquement et très variable avec la nature chimique des éléments considérés.

3. *Dissymétrie dans la décharge par les rayons de Röntgen et par les rayons secondaires.* — La décharge par les rayons ultra-violets ne s'exerce sensiblement que sur les conducteurs électrisés *négativement*, frappés par les rayons ; elle est d'essence *dissymétrique*. La décharge par les rayons Röntgen et par les rayons secondaires a son siège dans le gaz soumis au champ électrique des conducteurs ; elle est d'essence *symétrique*, en ce sens que les rayons libèrent dans le gaz d'égales quantités d'électricité positive et d'électricité négative ; il importe de rechercher si, dans certains cas, la vitesse de décharge peut être différente, suivant que le conducteur étudié est électrisé négativement ou positivement. Je n'ai pu reconnaître nettement une dissymétrie de ce genre permettant de rapprocher la décharge, dans l'atmosphère, par les rayons de Röntgen ou par les

---

reliées à l'aiguille d'un électromètre ou à la feuille d'or d'un électroscope de Hankel ; les armatures opposées à M et M' seront à des potentiels égaux et de signes contraires, de manière que les actions secondaires de M et M' seront *opposées* l'une à l'autre sur l'électromètre.

(1) M. Curie et Mme Curie, *Comptes rendus*, t. CXXVII, p. 175. M. Curie, Mme Curie et M. Bémont, *loc. cit.*, p. 1215 ; 1898. Un nouvel élément très actif, l'*actinium*, a été depuis découvert dans les mêmes minerais, par M. Debierne : *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 593 ; 1899 ; — t. CXXX, p. 906 ; 1900.

rayons secondaires de la décharge par les rayons ultra-violets. J'ai déjà insisté sur les circonstances qui peuvent donner à la décharge d'un condensateur frappé par les rayons Röntgen l'apparence d'une action localisée à la surface des armatures (1). D'autre part, le fait que le champ électrique tend à se localiser (2) auprès de l'armature négative d'un condensateur plus encore qu'auprès de l'armature positive peut faire paraître l'action de décharge inégalement localisée ou inégalement intense suivant le signe de la charge du conducteur ; cette influence est négligeable si la différence de potentiel des armatures du condensateur étudié est suffisante pour qu'on puisse négliger relativement les variations de potentiel dues à la présence des charges électriques libérées dans le gaz par les rayons ; j'ai déjà dit que la dissymétrie de l'altération du gradient du champ électrique peut s'expliquer par une vitesse de translation plus grande pour les charges négatives que pour les charges positives.

Voici une autre cause de dissymétrie dans la décharge, qui est particulièrement importante et qui paraît tenir à une inertie dynamique de particules électrisées (*ions*), libérées dans le gaz par les

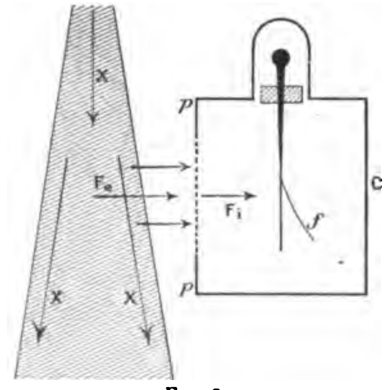


Fig. 3.

rayons et lancées par la force du champ électrique. J'ai toujours observé que les rayons X ou les rayons secondaires dissipent avec la même vitesse, à $\frac{1}{100}$ près environ, l'électrisation positive ou l'électrisa-

(1) *Séances de la Société Française de Physique, loc. cit.*

(2) J'ai fait remarquer (*loc. cit.*) que la nature du métal frappé par les rayons de Röntgen influe sur la localisation du champ au voisinage du métal.

tion négative d'un métal placé dans l'air à la pression atmosphérique, si ce métal reçoit les rayons à travers des orifices percés dans une enveloppe métallique C, qui est soigneusement reliée au sol et qui ne laisse pas sortir de lignes de forces issues du métal électrisé, *sous la condition expresse qu'aucun champ électrique ne règne à l'extérieur de la cage* C *sur le trajet des rayons*. Mais une notable inégalité entre les vitesses de dissipation des deux électricités apparaît, si la cage métallique C est électrisée ou si un corps électrisé est placé à l'extérieur de la cage C.

Un faisceau de rayons X (*fig.* 3) passe, dans l'air, près d'une fine toile métallique, ou d'un écran métallique percé d'orifices, qui ferme électriquement en *pp* le champ intérieur F_i d'un électroscope. Il y a toujours une légère action de décharge α de la feuille d'or *f* en l'absence de tout champ extérieur; elle est due à l'action des rayons secondaires disséminés par l'air atmosphérique. Quand il existe un champ extérieur F_e, on vérifie, dans tous les cas, la loi suivante :

Si le champ extérieur F_e et le champ intérieur F_i sont de même sens, à l'action de décharge primitive α, mesurée par l'inverse du temps de décharge quand F_e est nul, s'ajoute une action *accélératrice* A, souvent très supérieure à α. Si F_e et F_i sont de sens contraires, la présence du champ F_e entraîne une action supplémentaire *a retardatrice* $\left(\text{qui s'est toujours montrée inférieure à } \alpha \text{ et généralement comparable à } \frac{\alpha}{2}\right)$. Voici quelques exemples : 1° Cage électrisée négativement (en communication permanente avec une bouteille de Leyde) et fermée par une fine toile métallique *pp* ; feuille d'or *f* négative, chute de *f*, de 90 millimètres à 100 millimètres d'une échelle placée derrière, observée dans un viseur, en 18 secondes ; feuille *f* positive, chute de *f* de 90 millimètres à $92^{mm},5$ seulement, en 75 secondes ;

2° Même dispositif; mais la toile *pp* est remplacée par une plaque de plomb percée de plusieurs orifices circulaires de 1 centimètre de diamètre. Cage au sol et pas de champ extérieur ; *f* positive ou négative tombe de 66 millimètres à $98^{mm},5$ en 25 secondes. Cage électrisée négativement; *f* négative tombe de 90 millimètres à 100 millimètres en 13 secondes ; *f* positive tombe de $90^{mm},5$ à 93 millimètres seulement en 75 secondes ;

3° Même dispositif qu'en 2°; mais on maintient la cage C au sol et l'on électrise une lame L d'aluminium placée devant la cage dans le

faisceau de rayons X. Si L est au sol, comme C, f positive ou négative tombe de 90 millimètres à 95 millimètres en 66 secondes. Si L est négative, f tombe de la même quantité en 18 secondes seulement, si son électrisation est positive, et en 175 secondes si son électrisation est négative.

L'*action retardatrice a*, qui s'observe si bien quand l'électroscope est fermé par la plaque percée d'ouvertures (expériences 2° et 3°), ne s'observe plus sensiblement quand il est fermé par la fine toile métallique; l'*action accélératrice* A subsiste alors seule (expérience 1°); elle subsiste sans s'affaiblir beaucoup quand on place la plaque percée d'orifices à 3 millimètres devant ou derrière la toile métallique et en communication électrique avec cette toile; elle disparaît à son tour si, au lieu de la plaque, on place devant la toile métallique une seconde toile fine en communication électrique avec la première; elle disparaît aussi, et les deux électricités fuient sensiblement avec la même vitesse, si l'entrée de l'électroscope est fermée par une feuille métallique même mince, telle qu'une feuille d'aluminium battu de 2 ou 3 microns d'épaisseur, dépourvue de déchirures et de trous visibles à l'œil nu.

6. *Généralisation de la notion de rayons cathodiques.* — Les phénomènes précédents se présentent dès qu'il existe à l'extérieur de la cage C un champ électrique F_e de quelques volts par centimètre, encore bien inférieur au champ F_i, de l'ordre de 100 volts par centimètre, qui règne dans la cage C. En aucun cas, même quand F_e est très énergique, la feuille d'or électrisée f ne se déplace quand on excite le champ extérieur F_e. Il ne me paraît pas possible d'expliquer les phénomènes signalés en admettant qu'une petite partie des lignes de forces du champ F_i viennent, lorsqu'on excite F_e, se raccorder directement avec des lignes de forces du champ F_e. Je pense que les charges électriques libérées par les rayons dans l'air soumis au champ électrique extérieur F_e suivent *à peu près* les lignes de forces de ce champ avec une certaine *vitesse*. Mais, quand la ligne de force du champ F_e se recourbe *rapidement* (*fig.* 4) pour aboutir à un bord c d'une ouverture de la paroi pp de l'électroscope, on comprend que, si la charge électrique possède une force vive suffisante, elle puisse quitter la ligne de force du champ F_e et bondir, suivant un certain chemin ab, jusqu'à une ligne de force du champ F_i. Si F_i est de même sens que F_e, les charges ainsi projetées dans le champ extérieur y forment un flux électrique qui accroît le flux de décharge normal

parce qu'il est de *même sens;* d'où une augmentation de la rapidité de décharge de la feuille d'or. Dans le cas contraire, les flux sont *opposés*, et il y a *retard;* mais, dans ce cas, le flux supplémentaire dû à la projection électrique du champ F_e est rapidement ramené vers *p*

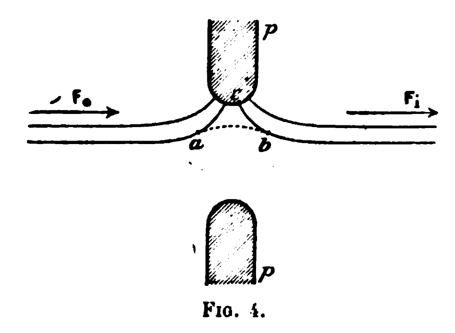


Fig. 4.

par le champ F_i, avant même d'avoir pu prendre une direction voisine de celle du flux normal; on comprend alors que l'action retardatrice *a* n'apparaisse nettement que si les charges issues de l'extérieur pénètrent assez avant dans l'intérieur de la cage C ([1]). Cela sera réalisé si les ouvertures de la cage C sont assez larges (expériences 2° et 3°), et pas sensiblement si elles sont assez étroites (expérience 1° faite avec une toile métallique dont la maille a environ un cinquième de millimètre de côté). On prévoit aussi, et l'expérience confirme que le retard (expériences 2° et 3°) augmente avec le champ extérieur F_e ; les lignes de forces entrent alors, en effet, plus avant dans la cage C et s'y recourbent plus complètement; d'autre part, les charges électriques amenées par le champ extérieur F_e sont sans doute animées d'une plus grande vitesse.

Ainsi les phénomènes que j'ai signalés paraissent dus à un flux de charges électriques qui, animées de certaines vitesses, refusent de recourber très rapidement leur trajectoire suivant les lignes de forces aboutissant aux bords des ouvertures de la cage de l'électroscope; elles pénètrent ainsi, comme un *bombardement*, dans l'intérieur de la cage, sans toutefois que leur force vive suffise à leur faire traverser

---

([1]) Le flux supplémentaire retardateur ne vient donc pas jusqu'à la feuille électrisée *f*; mais, avant d'être repoussé jusqu'à la surface des parois *pp*, où il vient se perdre, il *neutralise* en partie les charges de signe contraire du flux primitif dû à l'action primitive de décharge *a*, qui cheminent en sens inverse et arrivent ainsi affaiblies sur la feuille *f*, d'où l'affaiblissement de la décharge de *f*.

une épaisseur notable d'air à la pression atmosphérique, où ne règne aucun champ électrique (entre deux toiles métalliques identiques, voir § 5), ni une épaisseur d'aluminium de l'ordre du micron.

On peut se proposer de dévier ce bombardement par l'*action de l'aimant* et, en opérant dans des *gaz raréfiés*, lui faire atteindre des vitesses de plus en plus grandes, surtout si le champ extérieur est produit par de très grandes différences de potentiel. Sans doute le bombardement traversera-t-il alors une mince feuille d'aluminium et deviendra-t-il progressivement comparable aux *rayons cathodiques*. Déjà l'on peut remarquer que, d'après les expériences dues à M. Child (Voir *J. de Phys.*, *loc. cit.*), les rayons X qui passent entre les deux armatures d'un condensateur chargé localisent la chute du potentiel au voisinage des armatures et un peu plus auprès de l'armature négative qu'auprès de l'armature positive. Je pense que, la pression des gaz diminuant, la chute de potentiel se localiserait de plus en plus auprès de l'armature négative, grâce à une augmentation de plus en plus grande de la vitesse du flux d'électricité négative par rapport au flux d'électricité positive; le flux négatif formerait alors les rayons cathodiques que nous connaissons, capables de parcourir de grandes distances dans le vide de Crookes, de se diffuser au travers de minces feuilles d'aluminium (Lenard) pour se propager, en dehors du tube où ils ont pris naissance, sur des mètres de longueur dans un gaz très raréfié, sur quelques centimètres seulement dans l'atmosphère qui les absorbe et les diffuse (1).

On aurait ainsi toute une série de flux anodiques et cathodiques, depuis le bombardement vraisemblablement très lent et très diffusable que j'ai produit et étudié dans l'atmosphère, jusqu'aux rayons cathodiques considérablement plus rapides et mieux définis excités dans le vide de Crookes sous l'influence de différences de potentiel relativement considérables. Depuis que j'ai fait ces observations et ces rapprochements (2), le professeur J.-J. Thomson et ses élèves ont établi que les charges électriques ou *ions* libérés dans les gaz par les divers agents (rayons X, ultra-violets ou des corps radio-actifs, flammes) (3) se propagent dans l'air atmosphérique avec des vitesses

(1) P. Lenard, *Wied. Annalen d. Physik*, t. LI, p. 223; 1894; — t. LII, p. 23; 1894; — et t. LVI, p. 255; 1895.

(2) Pli cacheté déposé à l'Académie des Sciences, le 18 juillet 1898, ouvert dans la séance du 5 février 1900.

(3) M. P. Villard a réalisé avec les ions produits par les flammes l'expérience

de quelques centimètres par seconde sous l'influence de champs électriques de quelques volts par centimètre, tandis que les rayons cathodiques ordinaires, d'après la comparaison de leur déviation magnétique avec leur déviation électrique, se propagent avec des vitesses atteignant jusqu'à 100.000 kilomètres par seconde. Enfin, il n'est pas douteux qu'à l'intérieur d'un tube de Crookes les rayons de Röntgen, excités par les rayons cathodiques, n'augmentent l'émission cathodique elle-même; ils doivent libérer dans le gaz raréfié des charges électriques que le champ électrique dirigé et divise en deux flux inverses, l'un négatif, relativement rapide, qui s'éloigne de la cathode (rayons cathodiques), l'autre positif, relativement lent et ramené par le champ électrique sur la cathode[1].

7. *Analogie de la décharge par les rayons de Röntgen et par les rayons secondaires avec la décharge par les rayons ultra-violets de Lenard.* — Il résulte des expériences décrites dans le présent travail et des expériences antérieures que la décharge d'un conducteur, soit positif, soit négatif, est provoquée par les rayons de Röntgen ou les rayons secondaires :

1° Quand le conducteur reçoit directement les rayons (Benoist et Hurmuzescu);

2° Quand un corps voisin lui envoie des rayons disséminés (rayons secondaires ou tertiaires);

3° Quand le gaz soumis au champ électrique du conducteur est traversé par un faisceau de rayons, même si ce faisceau ne frappe aucun des conducteurs électrisés, ni directement, ni après dissémination (J. Perrin);

4° Quand un faisceau de rayons traverse le gaz soumis à un champ électrique F_e extérieur au champ électrique F_i du conducteur, mais de même sens que F_i et séparé du champ F_i par un écran conducteur discontinu (et même sans doute par un écran continu suffisamment mince, si le gaz étudié est suffisamment raréfié et le champ F_e suffisamment intense).

Ces quatre principaux modes de décharge se groupent d'ailleurs autour du troisième; ils résultent donc tous plus ou moins *indirecte-*

analogue à celle que le dispositif de la *fig.* 3 m'a permis de réaliser avec les ions produits par les rayons de Röntgen (P. Villard, *Société française de Physique*, séance du 16 mars 1900).

(1) Ce flux positif pourrait constituer, en partie du moins, l'afflux cathodique de M. P. Villard (Cf. P. Villard, *Séances de la Société Française de Physique*, p. 69, année 1898.

ment d'un effet qui a son siège dans la masse du gaz soumis à la fois à l'action du champ électrique et à celle des rayons. Il semble ainsi y avoir une opposition complète entre le mode d'action des rayons de Röntgen ou des rayons secondaires et l'action de décharge que les rayons ultra-violets exercent uniquement quand ils *frappent* un corps *négatif*. La différence semble d'autant plus profonde qu'il ne paraît pas y avoir dans le mode de décharge par les rayons de Röntgen ni par les rayons secondaires, agissant dans l'atmosphère, de dissymétrie partielle annonçant la dissymétrie profonde de la décharge par les rayons lumineux. Mais, s'il n'y a pas de rayons de Röntgen ni de rayons secondaires qui se rapprochent, à ce point de vue, des rayons lumineux jusqu'ici étudiés, on peut se demander si, inversement, il n'y a pas d'autres rayons lumineux se rapprochant à ce point de vue des rayons de Röntgen et des rayons secondaires. C'est justement le cas des rayons lumineux ultra-violets récemment découverts et étudiés par le professeur Lenard [1]. En voici le mode de production et les principales propriétés :

Les étincelles électriques produites par un gros inducteur, actionné par un interrupteur de Wehnelt et relié à une bouteille de Leyde, éclatent entre deux pointes de métal (Al, Cd, Sn, Pb, Zn ou Mg). Elles sont le siège d'une émission de rayons ultra-violets qui se propagent en ligne droite, se réfractent à travers le spath fluor, le sel gemme, le quartz, suivant des indices de réfraction correspondant, d'après les formules de dispersion extrapolées, à des longueurs d'onde allant de $0^{\mu},19$ à $0^{\mu},14$ et sans doute en deçà.

Ces rayons sont capables de provoquer, comme les rayons de Röntgen, les rayons cathodiques, les rayons émis par les corps radio-actifs et les rayons ultra-violets déjà connus, la formation d'un brouillard dans un jet de vapeur d'eau sursaturée. Or, tandis que les rayons ultra-violets antérieurement étudiés ne produisent une décharge qu'en frappant (directement ou après diffusion) un corps négatif et n'ont aucune action tant qu'ils rencontrent seulement un conducteur positif [2] ou un gaz soumis au champ électrique des

---

(1) P. Lenard, *Ueber Wirkungen des ultra-violetten Lichtes auf gasförmige Körper* (*Drude's Annalen d. Physik*, t. I, p. 486-507 ; 1900). *Ueber die Elektricitatszerstreuung in ultra-violett durchstrahlter Luft* (*loc. cit.*, t. III, p. 298-319 ; 1900).

(2) Toutefois, M. Branly avait déjà observé, au cours de ses recherches (*J. de Ph.*, 3e série, t. II, p. 300 ; 1893), que l'étincelle de décharge d'un condensateur émet

conducteurs, les rayons ultra-violets de Lenard agissent sensiblement à la manière des rayons de Röntgen et des rayons secondaires : ils peuvent décharger non seulement les conducteurs électrisés négativement, mais encore les conducteurs électrisés positivement, dans certains cas avec la même vitesse, et cela même quand ils ne frappent point de conducteurs négatifs, soit directement, soit après diffusion ; *ils agissent surtout en rendant le gaz qu'ils traversent conducteur de l'électricité ;* la nature de la surface qu'ils frappent est sensiblement indifférente. Ainsi disparaît l'une des principales différences d'après lesquelles on était conduit à considérer la nature des rayons X comme essentiellement distinctes de celle des rayons ultra-violets.

Sur un nouveau cercle à calculs ;

Par M. Pierre Weiss (1).

Préoccupé de faire avec une dépense minima de temps et d'attention les calculs ordinaires de réduction des observations de Physique, j'ai été conduit à une disposition de cercle à calculs qui diffère d'une manière assez marquée des cercles et des règles usuels, et dont un usage journalier m'a montré les avantages.

L'instrument comporte *une seule* graduation logarithmique, gravée sur métal, suivant une circonférence de 16 millimètres de diamètre. Cette graduation possède, comme celle de tous les autres *cercles* à calculs, la propriété de se juxtaposer à elle-même un nombre indéfini de fois. Elle est donc équivalente à une règle de longueur indéfinie, sur laquelle une échelle logarithmique, de 1 à 10, occuperait environ 50 centimètres.

Sur cette graduation se meuvent deux aiguilles, que j'appellerai l'*indicatrice* et la *multiplicatrice*. L'indicatrice entraîne toujours dans son mouvement la multiplicatrice; celle-ci, au contraire, peut se mouvoir seule, sans déplacer l'indicatrice.

Toutes les propriétés de l'instrument sont évidentes, si l'on consi-

---

une lumière très active sur les corps négatifs et *active aussi*, très faiblement il est vrai, *sur les corps positifs*.

(1) Séance du 18 juin 1898.

dère que, entre les nombres représentés par deux points distants, sur le cadran, d'un angle constant, il y a un rapport constant. On multiplie donc les nombres indiqués par les deux aiguilles par un même facteur, toutes les fois qu'on les fait tourner ensemble d'un même angle.

Pour faire un produit $a \times b$ (*fig.* 1), on mettra l'indicatrice sur l'un des facteurs a, et la multiplicatrice, en la faisant mouvoir seule, sur la division 1. Puis on les fera tourner solidairement jusqu'à ce que la multiplicatrice soit en b. L'indicatrice se trouve alors en $a \times b$.

On peut, sans lire ce premier produit, le multiplier immédiatement de la même manière par un troisième facteur c, et ainsi de suite.

Pour diviser un nombre quelconque, par exemple le résultat des multiplications précédentes, que montre actuellement l'indicatrice, par un nombre d, on met la multiplicatrice, en la faisant mouvoir seule, sur d, et l'on fait tourner les deux aiguilles d'un mouvement solidaire jusqu'à ce que la multiplicatrice soit en 1. L'indicatrice donne : $\frac{a \times b \times c}{d}$.

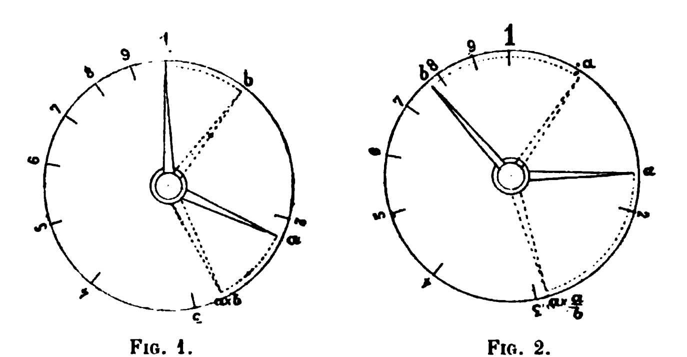


Fig. 1. Fig. 2.

La position 1 intervient, on le voit, dans toutes ces opérations. On évite le pointé de cette position au moyen d'un butoir *facultatif*, qui entre en jeu ou est supprimé par un mouvement à ressort.

Dans le cas plus général (*fig.* 2) de la multiplication d'un nombre α par un rapport $\frac{a}{b}$, la position 1 ne joue plus aucun rôle. On met l'indicatrice en α et la multiplicatrice en b en la faisant mouvoir seule.

Puis on donne à l'ensemble des deux aiguilles un mouvement qui amène la multiplicatrice de b en a. L'indicatrice donne alors $\alpha \times \frac{a}{b}$.

Quand on a des séries de nombres à multiplier par un même coefficient, on donne à l'angle des deux aiguilles la valeur correspondant à ce coefficient. Il suffit alors de mettre la multiplicatrice successivement en face de tous les membres, pour lire en face de l'indicatrice tous les produits.

En résumé, on peut, avec cet appareil, faire un nombre quelconque de multiplications et de divisions, sans que la précision et la rapidité des opérations soient diminuées par la lecture d'un résultat intermédiaire.

Les opérations ont un caractère de simplicité tel, qu'elles exigent beaucoup moins d'*attention préalable* qu'avec la règle ordinaire. On n'hésite, par exemple, jamais entre deux manières de faire dont l'une risque de conduire en dehors des limites de la règle. Cette supériorité est encore plus marquée par rapport aux règles dans lesquelles l'échelle est repliée sur elle-même afin de doubler la sensibilité pour une longueur de règle donnée.

La lecture elle-même est facilitée par la présence d'*une seule échelle*. On ne cherche pas l'endroit où elle doit se faire sur une deuxième graduation voisine, mais on le trouve immédiatement au bout d'une aiguille. Quand même, dans la règle ordinaire, on se sert du curseur Mannheim, le voisinage de la deuxième graduation augmente un peu l'attention nécessaire.

Dans le même ordre d'idées, j'ai évité la complication de graduations donnant les racines carrées et les lignes trigonométriques, que l'on aurait dû mettre sur des cercles concentriques. Il m'a paru préférable de ne demander à un même instrument que les opérations de beaucoup les plus fréquentes de la multiplication et de la division.

Ce cercle à calculs a été construit par M. I. Werlein. Les mouvements, solidaires ou indépendants des aiguilles, s'obtiennent aisément, par les frottements gradués des douilles sur les axes, réglés une fois pour toutes. Chacune des aiguilles porte un bouton molleté, qui doit être assez grand pour que la manœuvre des aiguilles soit commode, et relativement léger pour éviter les effets de l'inertie.

On obtient très facilement, avec cet instrument, une précision minima de $\frac{1}{2000}$, même dans les opérations compliquées.

Les compteurs d'énergie ;

Par M. P. Janet [1].

COMPTEURS D'ÉNERGIE.

L'énergie dépensée dans un circuit est le produit de la puissance par le temps; plus exactement, c'est l'intégrale du produit de la puissance par l'élément de temps. L'instrument qui sert à mesurer la puissance est le wattmètre : tout compteur d'énergie sera un wattmètre intégrateur; mais, de même que, au point de vue mathématique, une intégration peut s'effectuer de plusieurs manières, de même, au point de vue physique, il peut exister un grand nombre de procédés pour arriver au même résultat, et la sagacité des inventeurs s'est appliquée à mettre en pratique ces divers procédés. Les meilleures solutions seront celles qui non seulement donneront des indications exactes (dans la pratique courante, on doit considérer comme bons des compteurs qui donnent une approximation de 2 à 3 0/0), mais encore celles qui amèneront à des instruments simples, rustiques, peu susceptibles de dérangement, n'exigeant pas d'entretien et peu coûteux.

Avant de décrire en détail les compteurs que nous avons eu occasion d'examiner et, pour quelques-uns, d'expérimenter, nous essayerons d'indiquer d'une manière générale les procédés divers d'intégration que nous avons pu distinguer.

Dans un wattmètre ordinaire, le couple qui s'exerce entre les deux systèmes de bobines est équilibré par un couple de torsion proportionnel à l'angle de torsion; mais, si l'on cesse de s'opposer à ce couple, la bobine mobile ou l'organe analogue prendra un mouvement de rotation que, moyennant certains artifices (collecteur, etc.), on pourra rendre continu. Si alors on oppose à ce couple moteur un couple résistant proportionnel à la vitesse, l'organe mobile prendra une vitesse proportionnelle au couple moteur, c'est-à-dire, en somme, à la puissance à mesurer. Le chemin parcouru par l'organe mobile (ou l'intégrale de la vitesse par rapport au temps) est alors proportionnel à l'énergie, et ce chemin parcouru peut se traduire par le mouvement d'une ou de plusieurs aiguilles sur des cadrans divisés;

---

[1] Séance du 15 février 1901.

le couple proportionnel à la vitesse s'obtient aisément grâce à l'emploi des courants de Foucault induits dans un disque tournant par un champ magnétique constant. C'est là le principe des *compteurs moteurs* ou *compteurs à intégration continue*, dont nous trouverons de nombreux représentants. Les uns s'appliquent (ou peuvent en principe s'appliquer) indifféremment au courant continu ou alternatif; ce sont ceux qui reposent sur le principe du wattmètre à deux bobines (Thomson, Vulcain, Lux, Peloux). Les autres s'appliquent uniquement au courant alternatif; ce sont ceux qui s'appuient sur l'entraînement d'une masse métallique par un champ tournant ou, plus exactement, sur la réaction de deux champs présentant une différence de phase, sur les courants de Foucault induits par ces champs dans une masse métallique [Blathy, Hummel (A. E. G.), Siemens, Hélios, Batault].

Dans les appareils qui précèdent, la force motrice qui met en marche le compteur est précisément proportionnelle à la puissance à mesurer et, comme on l'a vu, pour que l'instrument soit exact, il faut que le couple résistant soit proportionnel à la vitesse. Les couples supplémentaires dus au frottement mécanique, toujours fort petits d'ailleurs, mais qui prennent de l'importance aux faibles charges, entraînent quelques erreurs que l'on peut corriger approximativement par des artifices appropriés (compoundage, etc.).

Mais, pour les éliminer complètement, on a cherché à réaliser des appareils dans lesquels la force motrice (toujours empruntée au courant lui-même pour plus de simplicité) est quelconque et largement suffisante pour assurer le mouvement des organes mobiles et dans lesquels le rôle du système de mesure se borne (comme pour le pendule dans les horloges) à en régler la vitesse. A ces principes, nous rattacherons les compteurs Aron et les compteurs oscillants de l'*Allgemeine El. Gesellschaft.*

Ces appareils font avancer le système mobile de quantités constantes à des intervalles de temps variables. On peut, au contraire, faire avancer le système mobile de quantités variables à des intervalles de temps égaux. C'est le principe des compteurs dits *à intégration discontinue* (Brillié, Brown et Routin, Holden).

Nous diviserons donc notre étude en trois parties :

1° *Compteurs-moteurs ;*

2° *Compteurs oscillants ;*

3° *Compteurs à intégration discontinue.*

COMPTEURS-MOTEURS.

a. Compteurs fondés sur le principe du wattmètre à deux bobines. Compteur Thomson. — Le plus connu de ces appareils est le compteur Thomson, dont tous les autres dérivent. Il n'est que juste, d'ailleurs, de rappeler qu'un compteur analogue, dans ses lignes générales, a été décrit dès 1889 dans le rapport de M. Potier, sous le nom de *compteur Desroziers*. Sur un arbre vertical monté sur pivot se trouvent calés un moteur qui fournit un certain travail et un amortisseur qui absorbe ce travail. Le moteur est caractérisé par l'absence totale de fer, aussi bien dans l'inducteur que dans l'induit; on élimine ainsi toutes les variations provenant des irrégularités du magnétisme dans le fer. L'inducteur, formé de deux bobines fixes, est traversé par le courant total à mesurer. Dans le champ grossièrement uniforme de ces bobines est placé l'induit en tambour monté sur l'arbre vertical; le collecteur, monté sur le même arbre, est formé de douze lamelles d'argent, et les balais sont également en argent. Cet induit, à fil fin et à grande résistance, est monté en dérivation avec une résistance additionnelle sur le réseau où l'on veut mesurer la puissance, et le courant qui le traverse est proportionnel à la tension du réseau. On en conclut immédiatement que le couple moteur est proportionnel à la puissance à mesurer. Le couple résistant, proportionnel à la vitesse, est obtenu au moyen d'un disque de cuivre mobile entre les pôles d'un aimant. La vitesse est alors proportionnelle à la puissance à mesurer, et, pour totaliser l'énergie, ou, ce qui revient au même, l'espace parcouru, il suffit de mettre une vis sans fin sur l'arbre de l'appareil et de lui adapter un compteur de tours.

Dans ce genre de compteurs, la principale cause d'erreur, surtout à faible charge, est due aux frottements; on a cherché à réduire au minimum cette cause d'erreur par une bonne construction mécanique; le bout inférieur de l'arbre repose dans une crapaudine munie d'une coupe en saphir poli; de plus, on s'arrange de manière que la vitesse soit toujours très faible, même à pleine charge; malgré cela, le frottement au départ fausserait les indications aux faibles charges, pour une seule lampe allumée, par exemple; on le compense approximativement, en faisant, comme pour les dynamos, de l'excitation composée, c'est-à-dire en munissant les inducteurs d'un enroulement supplémentaire à fil fin en dérivation, comme l'induit, sur le réseau.

Il en résulte évidemment un couple supplémentaire proportionnel au carré de la tension, et qu'on peut rendre égal au couple de frottement initial. Mais il est clair que le couple de frottement dépendant de la vitesse et le couple supplémentaire n'en dépendant pas, la compensation n'aura pas lieu pour une vitesse quelconque ; cela, d'ailleurs, n'a pas grande importance, la correction n'étant vraiment nécessaire que pour les faibles charges. L'introduction du compoundage dans les compteurs, parfaitement légitime en théorie, entr'ouvre cependant la porte à l'erreur que craignent le plus, et avec raison, les consommateurs, la marche du compteur à vide. En effet, si l'enroulement supplémentaire est calculé de manière à équilibrer exactement le frottement au départ, lorsque le compteur est dans un repos complet, il surpassera facilement ce couple initial lorsque le compteur est soumis à des vibrations ou des trépidations, comme peut en provoquer le passage des voitures dans les rues fréquentées ; pour éviter toute difficulté de ce chef, on a soin, d'abord, de se tenir au-dessous d'une compensation complète et, ensuite, de protéger le plus possible le compteur contre les vibrations extérieures par une suspension élastique appropriée.

L'influence de la température sur les compteurs est double : elle augmente la résistance de la bobine en dérivation et, par suite, diminue le couple moteur ; elle augmente la résistance du disque amortisseur, et, par suite, diminue le couple résistant. Si ces deux systèmes sont formés d'un même métal, de cuivre par exemple, on peut espérer qu'il y ait compensation entre les deux actions. Cette compensation était admise dans les anciens modèles de compteurs Thomson : elle n'est pas cependant tout à fait exacte, parce que, la bobine de fil fin étant, par le fait même du passage du courant, à une température plus élevée que la température ambiante, un même accroissement de température ne provoque pas la même variation relative de résistance de la bobine et de l'amortisseur. Dans les nouveaux modèles, le disque est en aluminium, ce qui présente de l'intérêt au point de vue de la légèreté, et la compensation relative à la température est obtenue par l'emploi d'alliages acier-nickel de M. Guillaume, qui peuvent avoir, suivant leur composition, des coefficients de température quelconques.

Les nouveaux modèles de compteurs Thomson présentent un certain nombre de perfectionnements de détail qui ont chacun leur importance :

1° Les balais ont été rendus mobiles autour de l'axe passant par leur centre de gravité (ou plutôt leur centre d'inertie), de façon à les rendre moins sensibles aux vibrations ; le contact se fait par les bords de petits étriers très mobiles, de façon à avoir deux points de contact certains par balai ;

2° Les balais et le pivot inférieur de l'appareil, qui sont les seuls points d'entretien, peuvent être visités sans ouverture de l'appareil ;

3° La fermeture de la boîte est hermétique ;

4° Le branchement, comme l'entretien; peut être fait sans ouverture de l'appareil ; ceci a de l'importance au point de vue du poinçonnage possible par les municipalités.

Un des points qui préoccupent le plus les stations centrales est celui de la consommation à vide du compteur. Bien qu'il semble logique d'évaluer, pour cette consommation, l'énergie au prix de revient et non au prix de vente, la dépense correspondante pour un secteur à clientèle très divisée peut devenir importante. Pour les compteurs Thomson, la consommation à vide, qui était autrefois de 12 à 14 watts, est tombée à 2 ou 3 watts, sans sacrifice sur le couple utile. Voici les résultats que nous avons relevés sur un compteur du type 10 ampères 100 à 110 volts :

Résistance du fil de dérivation.........	3.605 ohms
Consommation sous 100 volts..........	2,77 watts
Consommation sous 110 volts..........	3,35 watts

Démarrage à 0,07 ampère sous 104 volts.

Le démarrage a donc lieu à moins de 1 0/0 de la charge maxima, ce qui est largement suffisant dans la pratique.

Emploi du compteur Thomson en courant alternatif. — Le compteur Thomson, étant un véritable wattmètre, peut s'employer tel quel pour les courants alternatifs et comporte la même cause d'erreur que le wattmètre ordinaire, à savoir : le retard du courant dans la bobine à fil fin, dû à la self-induction de cette bobine. Soient : ε, le retard du courant sur la tension dans la bobine à fil fin ; φ, le retard du courant sur la tension dans l'appareil d'utilisation. On sait que le facteur de correction du wattmètre ou du compteur est alors :

$$\frac{1 + \tan^2 \varepsilon}{1 + \tan \varphi \tan \varepsilon},$$

de sorte que, si l'on a, en courant continu,

$$P = kn,$$

P étant la puissance à mesurer, n le nombre de tours par seconde du compteur, et k une constante, on a, en courant alternatif,

$$P = k \frac{1 + \tang^2 \varepsilon}{1 + \tang \varphi \tang \varepsilon} n.$$

L'erreur que l'on fait en omettant ce facteur de correction peut devenir notable, même pour de très petites valeurs de ε, pour les grandes valeurs du décalage φ[1].

Cette erreur tient à deux causes distinctes : 1° la self-induction de la bobine à fil fin réduit le courant dans cette bobine (pour une même tension aux bornes) dans le rapport de $\cos \varepsilon$ à 1 ; 2° le retard du courant sur la tension dans cette même bobine réduit à $\varphi - \varepsilon$ le décalage entre le courant dans la bobine à gros fil et le courant dans la bobine à fil fin ; le couple en est augmenté dans le rapport de $\cos(\varphi - \varepsilon)$ à $\cos \varphi$.

C'est cette dernière cause d'erreur que M. Frager a cherché à supprimer récemment, dans les compteurs Thomson, par l'artifice très ingénieux que voici : Au lieu de chercher à supprimer le décalage ε, on cherche à retarder aussi de ε le champ principal ; l'angle du courant dans la bobine à fil fin (courant de tension) et du champ inducteur se trouve ainsi ramené à $\varphi - \varepsilon + \varepsilon = \varphi$, et la deuxième cause d'erreur disparaît.

Pour obtenir ce résultat, on place à l'intérieur de la bobine principale une seule spire d'un fil peu résistant fermé sur lui-même. Des courants sont induits dans cette spire, et le champ résultant est, à un facteur constant près, la somme géométrique des ampères-tours principaux et des ampères-tours de la spire additionnelle.

D'après les lois fondamentales de l'induction, il est évident : 1° que les ampères-tours de la spire additionnelle sont perpendiculaires aux ampères-tours résultants ; 2° que ces mêmes ampères-tours de la spire additionnelle sont en retard d'un angle ε' sur la force électromotrice induite dans cette spire par la bobine principale, c'est-à-dire d'un angle $\frac{\pi}{2} + \varepsilon'$ sur les ampères-tours principaux, ε' étant donné par la formule $\tang \varepsilon' = \frac{L'\omega}{R'}$ et $\frac{L'}{R'}$ étant la constante de temps de la

---

[1] Si, par exemple, on a, comme dans les compteurs Thomson, $\tang \varepsilon = 0{,}05$, on trouve que l'on commet une erreur de 10 0/0 pour un décalage de $\cos \varphi = 0{,}4$ dans l'appareil d'utilisation.

spire additionnelle (*fig.* 1). De là s'ensuit que les ampères-tours résultants sont en retard de ε' sur les ampères-tours principaux; si l'on s'arrange de manière que $\varepsilon' = \varepsilon$ (il suffit pour cela que la constante de temps du circuit additionnel soit égale à celle du circuit à fil fin), le décalage entre le champ résultant et le courant de tension se retrouve bien égal à φ, comme il doit l'être, et la deuxième cause d'erreur signalée plus haut disparaît.

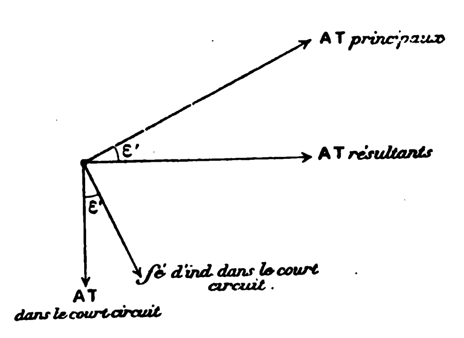


Fig. 1.

Il est vrai que l'on a introduit une cause d'erreur nouvelle, en ce sens que les ampères-tours résultants sont aux ampères-tours principaux dans le rapport de $\cos \varepsilon$ à 1; comme, d'autre part, le courant de tension est aussi dans ce même rapport $\cos \varepsilon$ à 1 avec le courant que l'on observerait (pour une même tension) en courant continu, la constante du compteur se trouve divisée par $\cos^2 \varepsilon$, c'est-à-dire multipliée par $1 + \text{tang}^2 \varepsilon$; mais, et c'est là le point intéressant, cette correction qui subsiste est indépendante du décalage φ. Elle est d'ailleurs très petite, puisque, pour $\text{tang}\, \varepsilon = 0{,}05$, on aurait $1 + \text{tang}^2 \varepsilon = 1{,}0025$; la correction n'est donc que de $\frac{2{,}5}{1.000}$, c'est-à-dire absolument négligeable dans la pratique.

M. Frager fait remarquer que l'on pourrait obtenir une correction analogue en remplaçant la spire en court-circuit par une résistance sans self-induction placée en dérivation sur les inducteurs ; nous ne nous arrêterons pas à ces considérations.

Nous avons décrit avec quelques détails le compteur Thomson, parce qu'il représente le type principal auquel se rattachent les appareils qui vont suivre.

Compteur Lux. — Le principe du compteur Lux est le même;

l'enroulement seul du circuit dérivé en diffère : c'est un circuit composé de trois bobines plates égales dont les axes, perpendiculaires à l'axe de rotation, font entre eux des angles de 120° ; l'une des extrémités de chacune de ces bobines aboutit à un même point neutre, et les trois extrémités libres aboutissent aux trois lamelles d'un collecteur sur lequel appuient deux balais ; on reconnaît là les dispositions essentielles de l'induit de la machine Thomson-Houston, qui a été longtemps employée pour l'éclairage par arcs à intensité constante. Le principal avantage de ce système est de donner, pour un même poids de cuivre immobilisé dans l'induit, un plus grand couple moteur, ou, ce qui revient au même, pour un même couple moteur une plus grande légèreté de l'induit.

En effet, l'emploi de l'enroulement ouvert permet, à égalité de poids de cuivre dans l'induit, et à égalité de perte dans le fil fin, d'augmenter le couple dans le rapport de 1 à 1,7 ou, à égalité de couple, de diminuer le poids de cuivre dans le même rapport. On obtiendra ainsi des induits très légers qui permettent de diminuer beaucoup les frottements, et le collecteur lui-même, n'ayant que trois lamelles, peut être de très petit diamètre, ce qui réduit au minimum le frottement des balais.

Compteur Vulcain. — Le compteur Vulcain est un compteur Thomson présentant quelques modifications de détail : la principale est le changement de forme de l'amortisseur, qui est formé par une surface cylindrique en cuivre tournant entre les pôles alternés d'une couronne d'aimants : le couple d'amortissement dépend en effet de la vitesse *linéaire* et non de la vitesse angulaire de l'amortisseur, et il s'ensuit qu'une surface cylindrique où la vitesse linéaire est partout la même utilise mieux la matière qu'un disque dont les parties centrales sont presque inactives. La couronne d'aimants dont nous avons parlé peut se régler en hauteur, à l'aide d'une vis unique, et, une fois le réglage obtenu, l'équipage est bloqué dans cette position par une vis spéciale qui le fixe définitivement.

Nous signalerons également, comme perfectionnement de détail, la suspension à ressort des crapaudines qui portent les saphirs sur lesquels l'arbre est mobile, et les dispositions prises pour assurer le transport de l'appareil sans crainte d'endommager les pierres ou les pointes de l'arbre.

Compteur Schuckert. — Ce compteur se rapproche beaucoup du compteur Thomson normal. Nous signalerons seulement comme

détail de construction la possibilité de régler la position de la bobine à fil fin du compoundage, de manière à compenser aussi exactement que possible les résistances de frottement.

Compteur Perdrisat. — Ce compteur diffère des précédents, d'abord parce qu'il contient du fer dans son induit et ensuite par la forme de son induit, qui est assez originale ; il est composé de quatre bobines ayant la forme de demi-cercles et disposées de la façon suivante : Traçons deux axes rectangulaires et deux circonférences concentriques ayant pour centre commun leur point de rencontre : soient A, B, C, D les points où la première circonférence coupe les axes ; A′, B′, C′, D′, les points correspondants pour la deuxième ; les diamètres des bobines en demi-cercle sont placés respectivement

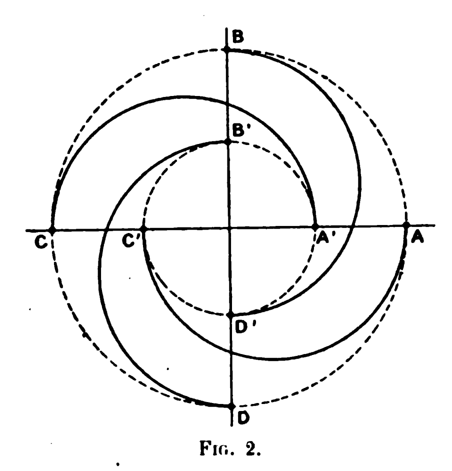


Fig. 2.

sur A′C, B′D, C′A, D′B, de manière à figurer une sorte de spirale (*fig.* 2) ; ces bobines sont, d'ailleurs, réunies entre elles et à un collecteur à la manière des sections successives de l'anneau Gramme. Il est facile de voir qu'il en résulte un couple de rotation à peu près constant. La construction des bobines est très simple ; sur une lame flexible de fer doux, présentant à ses extrémités deux œillets, on fait à la machine un enroulement, puis la lame est cintrée en demi-cercle et passée sur l'une des branches du croisillon, où elle est maintenue en place par une simple vis.

L'appareil est rustique, léger et d'une construction très simple : un compteur de 110 volts 50 ampères pèse 6 kilogrammes. On peut lui adresser la critique générale de tous les compteurs qui con-

tiennent du fer dans l'induit : défaut de proportionnalité aux variations trop grandes de tension; décalage plus notable (avec les erreurs qui s'ensuivent) dans les circuits à courants alternatifs.

Compteur Peloux. — Le compteur Peloux est encore fondé sur le principe général des compteurs-moteurs ; mais il est caractérisé par ce fait que toutes les bobines sont fixes et que la partie tournante est constituée uniquement par une armature en fer. Les bobines parcourues par le courant principal ont à peu près la même forme que dans les compteurs précédents, mais les bobines de dérivation, au nombre de quatre, sont superposées, et leur axe est vertical; suivant cet axe passe un noyau de fer doux qui porte quatre bras à angle droit l'un de l'autre, mais à des niveaux différents; ce noyau, avec ses prolongements polaires, est mobile et, dans son mouvement de rotation, entraîne la minuterie du compteur. Un collecteur à quatre lamelles, qui distribue successivement le courant aux quatre bobines indiquées plus haut, change la polarité des pièces polaires chaque fois que ces pièces polaires se trouvent à 45° de l'axe des bobines principales, de telle sorte qu'il en résulte un mouvement de rotation continu à couple sensiblement constant et proportionnel, comme toujours, à la puissance à mesurer. Un amortisseur ordinaire complète l'appareil.

b. Compteurs fondés sur le principe de Ferraris. — Ces compteurs-moteurs, exclusivement réservés aux courants alternatifs, constituent la plus grande nouveauté (en ce qui concerne les compteurs) de l'Exposition de 1900 : on sait, en effet, qu'en 1889 le principe des champs tournants n'avait encore reçu aucune application, et l'on peut dire que le développement de ce principe constitue toute l'histoire de l'électrotechnique dans les onze années qui ont séparé les deux Expositions.

Nous donnerons d'abord la théorie générale de ces compteurs, ce qui nous permettra ensuite de n'insister que sur les points particuliers à chacun d'eux.

Imaginons qu'un conducteur métallique massif, de révolution, un cylindre, par exemple, mobile autour de son axe, soit soumis à l'action de deux champs magnétiques alternatifs, rectangulaires entre eux et présentant une certaine différence de phase φ : soient F et f leurs valeurs maxima. Chacun de ces deux champs alternatifs peut, comme on le sait, être décomposé en deux champs tournant en sens inverse ; ce qui fait en tout quatre champs tournants : deux, A

et B, tournant dans un sens, et deux, A′, B′, tournant dans l'autre.

Nous pouvons maintenant composer A et B en un seul champ tournant H et, de même, A′, B′, en un seul champ tournant en sens inverse H′; on trouve aisément :

$$H^2 = F^2 + f^2 + 2Ff \sin \varphi,$$
$$H'^2 = F^2 + f^2 - 2Ff \sin \varphi.$$

La masse métallique, abandonnée à elle-même, va être entraînée dans le sens du plus grand de ces deux champs, H′, par exemple; soient ω' sa vitesse de rotation, ω la pulsation du courant; le cylindre prend alors une vitesse relative $\omega - \omega'$ par rapport au champ H, et $\omega + \omega'$ par rapport au champ H′. A mesure que ω augmente, la vitesse relative du cylindre et du premier champ diminue, la vitesse relative du cylindre et du second champ augmente; il en résulte que le couple moteur diminue et que le couple résistant augmente. Il y aura, pour une certaine vitesse ω', équilibre entre ces couples, et cette vitesse ω' se maintiendra alors constante.

Admettons que le couple (moteur ou résistant) soit proportionnel, d'une part, au carré du champ tournant; de l'autre, à la vitesse relative du champ et du cylindre(¹).

Nous aurons alors :

$$C_m = KH^2 (\omega - \omega'),$$
$$C_r = KH'^2 (\omega + \omega');$$

d'où :

$$KH^2 (\omega - \omega') = KH'^2 (\omega + \omega')$$

ou

$$\omega' = \frac{\omega (H^2 - H'^2)}{H^2 + H'^2}$$

ou

$$\omega' = \omega \frac{2Ff \sin \varphi}{F^2 + f^2}.$$

Ainsi, dans ce cas, même en dehors de tout amortissement étranger, le cylindre prend une vitesse bien définie, donnée par l'équation précédente.

Cette équation peut s'interpréter de la façon suivante : tout se

(¹) En faisant cette hypothèse, nous supposons implicitement que, dans les circuits particulaires où se développent les courants de Foucault, la réactance est négligeable par rapport à la résistance.

passe comme si le cylindre était soumis à un couple moteur

$$2\omega Ff \sin \varphi$$

et à un couple résistant

$$(F^2 + f^2)\omega'$$

proportionnel à la vitesse (à condition que $F^2 + f^2$ soit constant). Ce dernier couple est exactement de l'espèce de ceux que nous avons appelés plus d'une fois *couples amortisseurs*.

Ainsi le système de deux champs rectangulaires alternatifs et présentant une différence de phase φ donne naissance à la fois à un couple moteur et à un couple amortisseur.

Appelons ψ le décalage du courant sur la tension aux bornes des appareils d'utilisation auxquels est appliqué le compteur; si l'on s'arrange de manière que l'angle que nous avons appelé φ soit égal à $\frac{\pi}{2} + \psi$, l'expression du couple moteur devient $2\omega Ff \cos \psi$. Si, de plus, le champ F est proportionnel au courant principal I et le champ f proportionnel à la tension e aux bornes de l'appareil d'utilisation, le couple moteur prend la forme $2C\omega eI \cos \psi$, c'est-à-dire qu'il est proportionnel à la puissance à mesurer $eI \cos \psi$.

Nous avons vu que, dans ces conditions, pour que le compteur enregistre l'énergie dépensée, il fallait que le couple résistant fût proportionnel à la vitesse; or ici le couple résistant est:

$$(F^2 + f^2)\omega',$$

f est à peu près constant dans le cas d'une distribution à potentiel constant; mais F varie avec la charge, puisqu'il est proportionnel au courant principal. Aux faibles charges, F étant négligeable par rapport à f, l'amortissement est à peu près proportionnel à la vitesse, et le compteur est à peu près exact; mais, à mesure que la charge augmente, le terme F^2 prend de l'importance et le compteur retarde de plus en plus.

Le meilleur moyen et le plus simple pour éviter cet inconvénient consiste à munir le compteur d'un amortissement ordinaire par un aimant permanent, $k\omega'$, assez grand pour que l'on puisse négliger devant cet amortissement le terme $(F^2 + f^2)\omega'$; on aura alors simplement :

$$\omega' = \omega \frac{2Ff \sin \varphi}{k},$$

et la vitesse ω' sera rigoureusement proportionnelle à la puissance à mesurer.

Cet amortissement supplémentaire pourra s'exercer soit sur le conducteur tournant lui-même, soit sur un disque métallique monté sur le même arbre, comme dans les compteurs-moteurs à bobines.

Dans quelques systèmes, on ne se contente pas de cet artifice, et, pour compenser l'existence d'un terme d'amortissement croissant avec la charge, on cherche à augmenter le couple moteur (proportionnel à la puissance) d'un terme supplémentaire croissant, lui aussi, avec la charge ; ce sont là, en général, des moyens empiriques dont il est difficile de donner une théorie satisfaisante.

Le frottement au départ devra également être compensé, comme dans tous les compteurs-moteurs, par un couple supplémentaire convenable.

L'expression de la vitesse ω' montre que celle-ci, toutes choses égales d'ailleurs, dépend de ω, c'est-à-dire de la pulsation (ou de la fréquence) du courant donné.

L'étalonnement du compteur dépendra donc de cette fréquence ; il en résulte également qu'il devra dépendre, jusqu'à un certain point, de la forme du courant ; ce sera à l'expérience de montrer dans quelles limites s'exerce cette influence.

Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que les deux champs rectangulaires agissaient sur un conducteur de révolution ayant son axe perpendiculaire à chacun d'eux. Dans un certain nombre de cas, au contraire, on emploie deux champs parallèles entre eux et perpendiculaires à un même disque dont l'axe est parallèle aussi à ces champs ; dans ce cas, le couple moteur provient de l'action exercée par l'un des deux champs sur les courants induits dans le disque par l'autre ; il est facile de se rendre compte que son expression doit être de la même forme que la précédente.

Nous passerons maintenant à la description des principaux appareils fondés sur ces principes.

Compteur Blathy. — Ce compteur est un des représentants les plus anciens et les plus connus des appareils fondés sur le principe de Ferraris. Les deux champs F et f sont tous deux normaux à un même disque métallique, qui est soumis également à l'action amortissante d'un aimant permanent. La théorie ne diffère pas essentiellement de celle des compteurs à véritable champ tournant. Le déca-

lage de $\frac{\pi}{2}$ entre le champ f et le champ F est obtenu seulement grâce à la réaction de la bobine à fil fin : c'est dire que le réglage n'est qu'approximatif. Le couple supplémentaire nécessaire pour vaincre le frottement au départ est obtenu au moyen de deux petits écrans métalliques disposés d'une façon dissymétrique sur les pôles de l'électro-aimant en dérivation.

Compteur Hummel. — Ce compteur a pour organe mobile un cylindre creux de cuivre concentrique à un cylindre de fer formant armature. L'inducteur qui produit le champ tournant est un anneau de fer également concentrique aux cylindres précédents, et portant à son intérieur quatre pôles à angle droit. Ces pôles sont munis chacun de pièces polaires dissymétriques et toutes dirigées dans le même sens de rotation. Les enroulements ont une grande ressemblance avec ceux des machines modernes polyphasées : soient A, B, C, D les quatre pôles, A opposé à C, B à D. L'enroulement à fil fin forme deux bobines qui entourent l'une les pôles A et B, l'autre les pôles C et D, en restant comprises tout entières à l'intérieur de l'anneau inducteur ; l'enroulement à gros fil est formé d'une seule bobine semblable aux précédentes, mais entourant les pôles B et C. Lorsque ces deux systèmes de bobines sont parcourus par des courants décalés de $\frac{\pi}{2}$ l'un par rapport à l'autre, il prend naissance un champ tournant qui entraîne le cylindre creux de cuivre. L'amortissement est produit à la manière ordinaire par un disque métallique monté sur le même axe que le cylindre de cuivre et tournant entre les pôles d'aimants permanents.

La dissymétrie des pièces polaires entraîne l'existence d'un couple, même lorsque le fil fin seul est parcouru par le courant de dérivation (probablement par suite d'effets de répulsion analogues aux effets d'Elihu Thomson).

On règle cette action propre des bobines à fil fin de manière à compenser sensiblement les frottements au départ ; et, pour empêcher le compteur de tourner à vide, on munit le disque amortisseur d'un petit fragment de fer qui suffit à arrêter l'appareil dans une position d'équilibre stable et l'empêche de tourner à vide, même sous l'influence de vibrations notables, tout en lui permettant de démarrer dès qu'un courant passe dans le gros fil.

Un artifice particulier est employé en vue d'obtenir un décalage

de $\frac{\pi}{2}$ exactement dans la bobine à fil fin. Le circuit à fil fin comprend : 1° une bobine de réactance réglable R_1 ; 2° à la suite de cette bobine et en dérivation l'une sur l'autre, la bobine à fil fin du compteur D, et une résistance non inductive R_2, également réglable.

Le courant dans la bobine D est en retard sur la différence de potentiel aux bornes d'un angle $\alpha < \frac{\pi}{2}$, mais cette différence de potentiel est elle-même en retard sur la différence de potentiel totale d'un angle $\beta < \frac{\pi}{2}$; on peut, par un réglage convenable de R_1 et de R_2, s'arranger de manière que $\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$ (*fig.* 3 et 4).

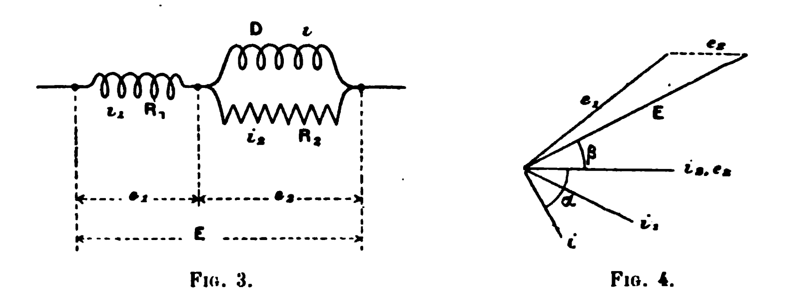


Fig. 3. Fig. 4.

Compteur Hélios. — Ce compteur, exposé par l'*Hélios Elektrizitäts-Aktiengesellschaft*, repose sur les mêmes principes que les précédents ; il présente quelques particularités intéressantes :

1° Comme dans le compteur Blathy, les pôles de l'électro-aimant en dérivation sont recouverts en partie d'écrans métalliques dissymétriques ; pour éviter que ces écrans ne provoquent la marche à vide du compteur, l'amortisseur est percé de trous qui entraînent l'existence de positions d'équilibre stable pour ce compteur. Ces positions sont telles que les points de moindre résistance viennent se placer en regard du champ alternatif des bobines à fil fin. Cette disposition, d'ailleurs, n'empêche pas le compteur de démarrer dès qu'un courant traverse les bobines à gros fil ;

2° Nous avons vu plus haut que ces sortes de compteurs avaient une tendance à retarder, à cause de l'influence amortissante de la bobine-série, qui croît avec l'intensité du courant ; on cherche à compenser cette erreur par la création d'un couple moteur croissant

aussi avec cette intensité et produit par la bobine-série à elle seule : pour cela, les pôles de cette bobine sont munis de masses métalliques dissymétriques à peu près analogues à celles que nous avons rencontrées sur la bobine à fil fin dans le compteur Blathy et dans le compteur Hélios lui-même ; mais on voit que le rôle de ces masses métalliques est ici tout particulier et destiné à compenser non le couple de frottement, mais le couple amortisseur de la bobine-série. Nous ne notons rien de particulier pour la production du décalage de $\frac{\pi}{2}$.

Compteur Raab. — Ce compteur appartient au même type que le compteur Blathy : le champ principal, le champ dérivé et le champ amortisseur des aimants permanents sont tous normaux à un même disque métallique, qui sert à la fois de moteur et d'amortisseur.

Le point particulier se trouve dans les dispositions adoptées pour obtenir exactement un décalage de $\frac{\pi}{2}$ entre les deux champs. Le système dérivé comprend deux électro-aimants dont les effets s'ajoutent géométriquement : le premier est, comme à l'ordinaire, en dérivation simple sur la tension : il donne un champ fortement décalé sur cette tension, mais dont le décalage n'atteint pas $\frac{\pi}{2}$; le second est monté en série avec une résistance non inductive, et le tout est aussi en dérivation sur la tension aux bornes ; de plus, le champ de cet élec-

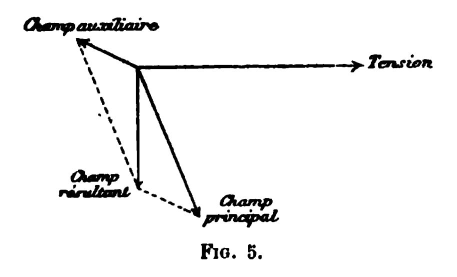


Fig. 5.

tro-aimant est inversé par rapport au premier ; le décalage de ce champ est plus faible que celui du premier, de sorte qu'on peut le régler de manière que le champ résultant soit exactement en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur la tension (*fig.* 5).

Compteur Hartmann et Braun. — Dans ce compteur, le mobile

moteur est un cylindre d'aluminium, l'amortisseur un disque de même métal.

L'amortissement dû à ce disque est suffisamment grand pour rendre négligeables les termes amortisseurs provenant des bobines à courant alternatif. Le point le plus original consiste dans la manière d'obtenir un décalage de $\frac{\pi}{2}$ exactement entre le champ dans l'entrefer de l'électro-aimant en dérivation et la tension aux bornes. Entre ces deux bornes se trouvent montés en série : 1° le primaire d'un petit transformateur auxiliaire ; 2° l'enroulement à fil fin de l'électro en dérivation. Le secondaire du transformateur auxiliaire est fermé : 1° sur une résistance réglable non inductive R ; 2° sur un second enroulement porté par l'électro en dérivation.

L'étude complète du diagramme montre que l'on peut, en réglant la résistance R, obtenir un décalage exactement égal à $\frac{\pi}{2}$ entre le champ dans l'entrefer de l'électro en dérivation et la tension aux bornes (*fig.* 6) (1).

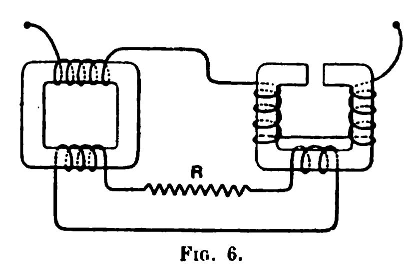


Fig. 6.

Compteur Siemens. — Ce compteur est fondé, comme les précédents, sur le principe de Ferraris : deux systèmes de bobines à angle droit agissent sur un cylindre d'aluminium ; l'amortisseur forme un système distinct.

Compteur Batault. — Ce compteur, exposé par la Société Génevoise pour la construction d'instruments de physique, dérive immédiatement du compteur Blathy ; il en diffère cependant par quelques détails intéressants : l'électro en dérivation comporte deux noyaux, et l'enroulement série n'est appliqué qu'à l'un de ces noyaux ; un diagramme simple montre que cette disposition est absolument équivalente à celle où les deux enroulements agissent sur des noyaux

(1) Dans la *fig.* 6, changer le sens d'enroulement du dernier noyau de droite

distincts. Mais le point le plus original consiste dans un enroulement en court-circuit, formé généralement d'une seule spire et enveloppant à la fois les pôles des deux noyaux. En faisant le diagramme de fonctionnement, on voit assez facilement que, par un réglage convenable de la résistance de cette spire, on peut amener à $\frac{\pi}{2}$ exactement le décalage entre le champ et le courant principal.

c. Compteurs-moteurs triphasés. — Le principe de la méthode bien connue des deux wattmètres s'applique immédiatement aux compteurs-moteurs à bobines, comme le compteur Thomson. Ou bien on emploie deux compteurs séparés dont on ajoute les indications, des bobines à gros fil étant parcourues par deux des trois courants du système, et les bobines à fil fin étant montées respectivement entre le troisième fil et chacun des deux premiers. L'emploi de deux compteurs étant peu commode, il est facile de réunir les deux appareils en un seul, les deux induits étant montés sur le même axe ; les couples moteurs s'ajoutent alors (éventuellement se retranchent dans le cas de très forts décalages) et le compteur donne, par une seule lecture, l'énergie à mesurer.

La nécessité de caler deux induits sur le même arbre entraîne, dans ce système, à des dimensions et à des poids assez considérables. On a cherché, pour éviter cette difficulté, à appliquer au même problème le principe de Ferraris. Nous citerons, comme fort intéressants à ce point de vue, les compteurs, mod. FU, exposés par l'*Elektrizitäts-Acktiengesellschaft vormals Schuckert*. Ces compteurs sont également construits, en France, par la Compagnie générale d'Électricité de Creil (1).

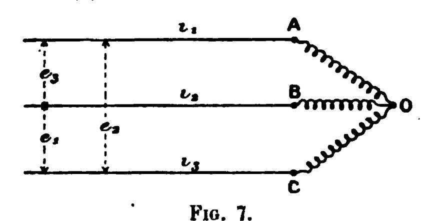


Fig. 7.

Considérons un système triphasé à trois fils (sans fil neutre) (*fig.* 7) : soient i_1, i_2, i_3 les trois courants aboutissant aux trois bornes

(1) Nous empruntons les détails qui vont suivre à un article de M. Rollinger, paru dans *l'Industrie électrique* du 10 octobre 1900.

A, B, C de l'appareil d'utilisation ; appelons V_A, V_B, V_C les potentiels de ces trois bornes et posons :

$$e_1 = V_B - V_C,$$
$$e_2 = V_C - V^A,$$
$$e_3 = V_A - V^B.$$

On sait que la puissance instantanée consommée dans le récepteur triphasé peut se mettre sous l'une des trois formes :

$$\text{(I)} \quad \begin{cases} P = e_1 i_2 - e_2 i_1, & (1) \\ P = e_2 i_3 - e_3 i_2, & (2) \\ P = e_3 i_1 - e_1 i_3. & (3) \end{cases}$$

En ajoutant deux à deux ces équations membre à membre, nous en déduisons le système suivant :

$$\text{(II)} \quad \begin{cases} 2P = i_1 (e_3 - e_2) + e_1 (i_2 - i_3), & (4) \\ 2P = i_2 (e_1 - e_3) + e_2 (i_3 - i_1), & (5) \\ 2P = i_3 (e_2 - e_1) + e_3 (i_1 - i_2). & (6) \end{cases}$$

Enfin, en ajoutant membre à membre respectivement les équations (2) et (4), (3) et (5), (1) et (6), on trouve :

$$\text{(III)} \quad \begin{cases} 3P = (i_1 - i_3)(e_3 - e_2) + (i_2 - i_3)(e_1 - e_3), & (7) \\ 3P = (i_2 - i_1)(e_1 - e_3) + (i_3 - i_1)(e_2 - e_1), & (8) \\ 3P = (i_3 - i_2)(e_2 - e_1) + (i_1 - i_2)(e_3 - e_2). & (9) \end{cases}$$

Les trois groupes précédents d'équations peuvent se prêter à la construction des compteurs triphasés : on voit que, dans tous les cas, l'expression de la puissance comprend deux termes qui s'ajoutent algébriquement : le compteur devra donc se composer de deux mobiles, deux disques d'aluminium montés sur le même axe, sur lesquels s'exerceront des couples proportionnels aux deux termes précédents. Chaque terme se compose lui-même de deux facteurs dont l'un est une intensité (ou une différence d'intensité) et l'autre une tension (ou une différence de tension). On sait que, pour appliquer le principe de Ferraris à ce cas, il faut faire passer dans une bobine (ou dans deux bobines différentielles) le courant principal (ou la différence de deux courants principaux), de manière à produire un champ en phase avec ce courant (ou cette différence de courants), et, d'autre part, faire agir simultanément sur le même disque un autre champ en quadrature avec la tension (ou la différence de tension) qui figure dans les équations précédentes. Ces deux champs (champ de courant et champ de tension) seront tous les deux normaux au disque

métallique. Nous venons de voir comment on produisait le premier : il existe un nombre de moyens très variés pour produire le second : nous en examinerons quelques-uns. Remarquons tout de suite que la très grande facilité que donnent les courants triphasés pour la solution du problème provient de ce que l'on trouve très facilement et sans aucun artifice, dans un système triphasé, des tensions déjà décalées sur celles que l'on veut employer ; on pourra donc obtenir le décalage requis de $\frac{\pi}{2}$ au moyen de décalages artificiels plus petits que $\frac{\pi}{2}$ et, par suite, très faciles à réaliser ; tandis que, dans le cas de courants alternatifs simples, il faut produire de toute pièce, au moyen d'artifices plus ou moins compliqués, le décalage de $\frac{\pi}{2}$ que ne peuvent jamais réaliser exactement de simples bobines à réaction.

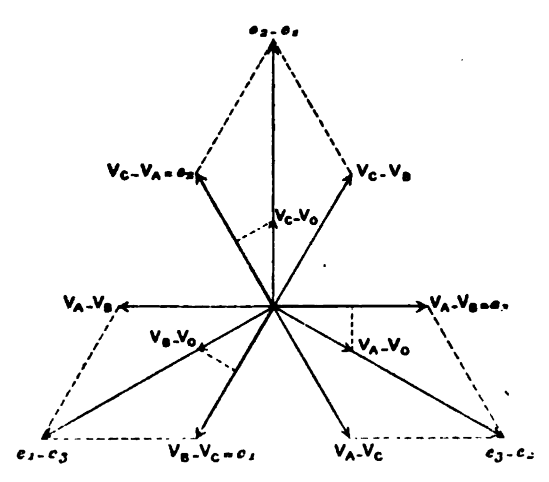


Fig. 8.

Dans tout ce qui va suivre, nous ne supposerons pas que les trois branches de l'appareil d'utilisation soient également chargées ; mais nous supposerons que cet appareil n'utilise qu'une très petite fraction de l'énergie totale disponible, de sorte que les tensions aux bornes restent, dans tous les cas, des tensions triphasées symétriques.

Application des équations du groupe I. — Nous avons appelé e_1, e_2, e_3, les trois tensions entre les bornes du système triphasé ; appelons maintenant O le point neutre symétrique (réel ou artificiel) du

système, et posons (*fig.* 8) :

$$a = V_A - V_O,$$
$$b = V^B - V_O,$$
$$c = V^C - V_O.$$

On sait que a est en retard de $\frac{\pi}{6}$ sur e_3 et, par conséquent, en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur e_1 ; de même b, est en retard de $\frac{\pi}{6}$ sur e_1 et en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur e_2 ; enfin, c est en retard de $\frac{\pi}{6}$ sur e_2 et en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur e_3. Cela posé, reprenons l'expression :

$$P = e_1 i_2 - e_2 i_1.$$

Nous avons au moins trois procédés pour obtenir un champ décalé de $\frac{\pi}{2}$ sur e_1 (il en serait évidemment de même pour e_2) :

1° Nous pouvons, au moyen d'une bobine de réaction convenable, produire un champ décalé de $\frac{\pi}{6}$ sur e_3 ; cette bobine, bien entendu, quoique représentant le terme e_1 ou $V_B - V^C$, devra être branchée alors entre les points A et B. Cette solution est indiquée par Hummel (*D. R. P.*, n° 101.869) ;

2° Nous pouvons, au moyen d'un point neutre artificiel et d'un circuit sans réactance, produire un champ en phase avec a ou $V_A - V_O$. Cette bobine sans réactance devra alors être disposée entre le point A et le point O (Siemens et Halske, *D. R. P.*, n° 99.634) ;

3° Nous pouvons enfin, au moyen d'une bobine de réactance convenable, produire un champ décalé de $\frac{\pi}{3}$ sur $-b$ ou $V_O - V_B$; dans ce cas, la bobine de réactance devra être branchée entre les points O et B[1]. Telle est la solution qui a été adoptée par la maison Schuckert (*D. R. P.*, n° 108.354).

Applications des équations du groupe II. — Considérons l'équa-

---

[1] Il est à remarquer que, dans toutes les méthodes fondées sur l'emploi d'un point neutre artificiel, les trois branches de l'étoile artificielle doivent avoir la même résistance et la même réactance, ce qu'on réalise ici en les formant de trois bobines enroulées sur des circuits magnétiques semblables, même si ces bobines ne doivent pas agir sur le mobile du compteur.

tion (4) :

$$2P = i_1(e_3 - e_2) + e_1(i_2 - i_3).$$

Il est facile d'observer que les deux tensions e_1 et $e_3 - e_2$ sont en quadrature et que la deuxième vaut 1,732 fois la première. Nous devons donc ici produire, au moyen de bobines en dérivation, deux champs en quadrature respective avec les tensions précédentes. Un grand nombre de solutions sont possibles. Voici celle à laquelle s'est arrêté M. Möllinger :

Proposons-nous de créer un point neutre artificiel non symétrique O′, de telle sorte que les tensions $V_A - V_{O'}$ et $V_B - V_{O'}$ soient égales et rectangulaires entre elles.

Il est facile de voir que, dans ces conditions, on aura :

$$(V_A - V_{O'})_{eff.} = (V_B - V_{O'})_{eff.} = \frac{1}{\sqrt{2}}(e)_{eff.} = 0,707e_{eff.},$$

e étant la tension donnée aux bornes du système triphasé. La troisième bobine de l'étoile artificielle devra être calculée de manière que :

$$(V_C - V_{O'})_{eff.} = \frac{\sqrt{3} - 1}{2} e_{eff.} = 0,366e_{eff.}$$

Si alors on porte ces nouvelles tensions sur le diagramme général du système triphasé, on trouve que $V_A - V_{O'}$ est en retard de 15° sur $e_3 - e_2$ et que $V_B - V_{O'}$ est en retard de 15° sur e_1.

Si donc nous choisissons la réactance des bobines (cette réactance étant choisie, celle de la bobine O′C s'en déduit) de telle sorte que les champs qu'elles produisent dans leur entrefer soient en retard de 75° sur la tension aux bornes, ces champs seront respectivement en quadrature avec $e_3 - e_2$ et avec e_1, et pourront, par conséquent, être utilisés pour la réalisation physique de l'équation (4).

Les champs de ces deux bobines sont égaux, alors que, pour satisfaire à l'équation (4), celui qui agit sur le courant i_1 devrait être $\sqrt{3} = 1,732$ fois plus intense que celui qui agit sur la différence des courants i_2 et i_3. Il est facile de compenser cette inexactitude en donnant, à la bobine série dans laquelle passe le courant i_1, 1,732 fois

plus de spires qu'aux bobines séries différentielles dans lesquelles passent les courants i_2 et i_3.

Applications des équations du groupe III. — Reprenons l'équation (7) :

$$3P = (i_1 - i_3)(e_3 - e_2) + (i_2 - i_3)(e_1 - e_3).$$

Il est très facile de nous procurer des champs en quadrature respectivement avec $e_3 - e_2$ et avec $e_1 - e_3$: il suffit, en effet, d'alimenter la première bobine par la tension e_2, en ayant soin que le champ, dans l'entrefer de cette bobine, soit en retard de 60° sur la tension aux bornes, et d'alimenter dans les mêmes conditions la deuxième bobine au moyen de la tension e_3. Cette dernière disposition a l'avantage sur les montages I et II de supprimer l'emploi d'une bobine de réaction. Si l'on compare les trois systèmes au point de vue de la dépense d'énergie dans le fil fin, on trouve que cette dépense d'énergie est dans le rapport

$$1 : 0{,}557 : 0{,}667.$$

Les deux derniers montages sont donc nettement supérieurs au premier.

Cas particuliers de phases également chargées. — Reprenons les équations du groupe I et ajoutons-les membre à membre : il vient :

$$3P = i_1(e_3 - e_2) + i_2(e_1 - e_3) + i_3(e_2 - e_1) ;$$

mais, dans le cas particulier de phases également chargées, la valeur moyenne de chacun des trois termes est égale, et l'on peut se borner à intégrer le premier. Le montage sera alors très simple ; le système mobile se réduira à un seul disque qui sera soumis à l'action simultanée : 1° d'une bobine série parcourue par le courant i_1 ; 2° d'une bobine dérivation donnant un champ en quadrature avec $e_3 - e_2$; comme plus haut, cette bobine pourra simplement être excitée par la tension e_2 (entre les fils 1 et 3), à condition d'être combinée de telle sorte que le champ soit en retard de 60° sur la tension excitatrice.

Les compteurs exposés étaient accompagnés d'un rapport très complet du professeur Kittler, d'où il résulte que les plus grandes erreurs dans les cas variés qui peuvent se présenter atteignent au

plus 2 0/0. Nous avons fait nous-même, au Laboratoire central d'Électricité, une série de déterminations dans des circonstances extrêmement variées : nous avons étudié les cas suivants (les récepteurs étant montés en triangle) :

1° Trois phases également chargées (résistances non inductives) ;

2° Trois phases également chargées (résistances inductives) ;

3° Deux phases chargées (résistances non inductives) ;

4° Une seule phase chargée (résistance non inductive) ;

5° Une seule phase chargée (résistance inductive) ;

6° Trois phases inégalement chargées (résistances inductives).

Nous avons trouvé que, dans le cas de charges égales (inductives ou non), l'appareil était juste à moins de 2 0/0. Dans le cas de charges inégales, nous avons observé des différences s'élevant à 3 ou 4 0/0. Il est intéressant d'observer que, dans le cas d'une seule phase chargée, deux cas peuvent se présenter : ou bien le courant alternatif simple que l'on a alors agit sur les deux disques ou il n'agit que sur un seul ; il semble résulter de nos mesures que le compteur est plus exact dans le second cas que dans le premier ; une anomalie semblable se remarque également dans les Tableaux du professeur Kittler.

Nous nous sommes étendu assez longtemps sur cet appareil, qui nous a semblé fort intéressant ; on peut lui faire la critique générale de tous les compteurs fondés sur le principe de Ferraris : il est sensible aux variations de fréquence et, par suite, à la présence d'harmoniques supérieurs dans les courbes de courant ou de tension ; peut-être les erreurs que nous avons observées tiennent-elles à ce que le courant était fortement déformé par les procédés (moteur à vide ou bobine de réaction) que nous employions pour produire de forts décalages.

COMPTEURS OSCILLANTS.

Compteur Aron. — Le plus connu des compteurs oscillants est sans contredit le compteur Aron, qui figurait déjà à l'Exposition de 1889 et dont le principe est bien connu.

Deux pendules, dont la masse inférieure est constituée par l'enroulement à fil fin d'un wattmètre, oscillent en présence de deux bobines fixes à gros fils constituant la bobine série de ce même wattmètre,

dans ces conditions, la force électrodynamique qui s'exerce respectivement entre les enroulements fixes et mobiles est proportionnelle à la puissance à mesurer ; le sens d'enroulement est choisi de telle sorte que, pour l'un des pendules, cette force F s'ajoute au poids P et, pour l'autre, s'en retranche.

Soient alors :

n, le nombre d'oscillations par seconde lorsque le courant ne passe pas ;

N et N', le nombre d'oscillations par seconde lorsque le courant passe ;

$$N - N' = n \frac{F}{P}.$$

La différence N — N' est donc proportionnelle à la puissance à mesurer. L'artifice bien connu du train différentiel permet de donner au système compteur proprement dit une vitesse proportionnelle à N — N', et, par suite, à la puissance à mesurer.

La théorie de l'appareil exige essentiellement que les durées normales d'oscillations des deux pendules soient rigoureusement égales ; dans les anciens modèles, on cherchait à réaliser autant que possible cette égalité, ce qui était fort difficile, sinon pratiquement impossible ; un perfectionnement important a consisté à corriger systématiquement l'erreur au lieu de chercher à l'annuler. Pour cela, le courant est périodiquement inversé (toutes les vingt minutes, par exemple) par le jeu même du compteur, dans les bobines à fil fin, de telle sorte que le pendule, primitivement retardé, avance, et réciproquement. On conçoit (et un calcul exact prouve) que l'on élimine ainsi l'erreur provenant d'un défaut de réglage des pendules. Un mécanisme complémentaire oblige la minuterie du compteur à tourner toujours dans le même sens malgré cette inversion.

Un autre perfectionnement important consiste dans le remontage automatique et électromagnétique substitué à l'ancien remontage à la main usité dans les anciens modèles ; ce remontage automatique se fait toutes les vingt secondes environ, au moyen d'un électro-aimant creux monté directement sur les 110 volts de la distribution et dans lequel le courant est envoyé pendant une fraction de seconde seulement ; l'armature aspirée par l'électro-aimant arme un ressort qui entretient le mouvement d'horlogerie. La puissance absorbée par le compteur (remontage compris) ne dépasse pas 1,8 watts ; la fai-

blesse de ce nombre tient à ce que les actions électrodynamiques ayant ici seulement un rôle de *déclenchement* et non un rôle moteur, les ampères-tours des enroulements, et en particulier de l'enroulement à fil fin, peuvent être très réduits.

Parmi tous les types exposés, celui qui nous a paru le plus intéressant est le compteur pour distribution triphasée à quatre fils. M. le Dr Aron s'est proposé de réaliser un appareil pouvant s'adapter au cas le plus complexe que l'on puisse rencontrer dans les distributions triphasées, celui où les récepteurs soient disposés indifféremment en triangle et en étoile et où, de plus, il existe un fil neutre; dans ce cas, l'égalité fondamentale :

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0,$$

n'est plus vraie et doit être remplacée par :

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0,$$

i_4 étant le courant dans le fil neutre.

Soient, comme toujours, A, B, C, les trois bornes des récepteurs, O le point neutre. On a :

$$\begin{aligned} P &= (i_{AB} + i_{AO} - i_{CA})(V_A - V_O) + (i_{BC} + i_{BO} - i_{AB})(V_B - V_O) \\ &\quad + (i_{CA} + i_{CO} - i_{BC})(V_C - V_O) \\ &= i_1(V_A - V_O) + i_2(V_B - V_O) + i_3(V_C - V_O), \end{aligned}$$

et cette expression est tout à fait générale, même dans le cas où il y a un quatrième fil.

Cela posé, supposons que le compteur ne soit appliqué, comme cela a lieu en général, qu'à la mesure d'une très faible fraction de la puissance de la station centrale; alors, même si les phases (aussi bien dans le triangle que dans l'étoile) sont inégalement chargées, les six tensions $V_A - V_B$, $V_C - V_C - V_A$, d'une part, $V_A - V_O$, $V_B - V_O$, $- V_C - V_O$, de l'autre, sont toujours triphasées, et l'on a :

$$(V_A - V_O) + (V_B - V_O) + (V_C - V_O) = 0,$$

d'où :

$$P = (i_1 - i_3)(V_A - V_O) + (i_2 - i_3)(V_B - V_O).$$

Telle est la relation utilisée dans le compteur pour distribution triphasée à quatre fils qui figurait à l'Exposition. Les courants i_1, i_2, i_3, passent dans trois bobines fixes égales ; les bobines 1 et 3 agissent

différentiellement sur un premier pendule alimenté par la tension $V_B - V_O$; les bobines 2 et 3 agissent de même sur un second pendule alimenté par la tension $V_B - V_O$; le sens des connexions des fils fins est d'ailleurs choisi de manière que la *différence* des nombres d'oscillations mesure la valeur moyenne de l'expression précédente de la puissance. On voit que ce mode de montage est plus général que l'ancien système bien connu du même auteur, pour courants triphasés sans fil neutre, système fondé sur l'emploi de l'équation :

$$P = e_1 i_2 - e_2 i_1,$$

qui suppose essentiellement que l'on a :

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0.$$

Cette équation peut d'ailleurs facilement être complétée pour le cas d'un système à quatre fils. On trouve alors :

$$P = e_1 i_2 - e_2 i_1 - \frac{i_4}{3}(e_2 - e_1),$$

i_4 étant le courant dans le fil neutre, compté positivement dans le même sens que les autres.

Cette équation s'applique facilement au compteur Aron. Les pendules à fil fin seront alimentés respectivement par les tensions

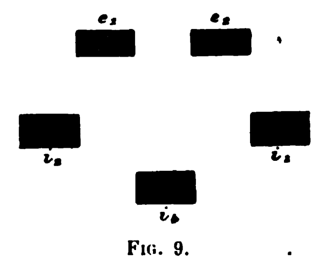


Fig. 9.

$e_1 = (V_B - V_C)$ et $e_2 = V_B$; sur ces deux pendules agiront séparément deux bobines fixes parcourues par les courants i_1 et i_2, et, de plus, une troisième bobine parcourue par le courant i_4, comprenant trois fois moins de spires ou placée à une distance plus grande et agissant à la fois sur les deux pendules e_1 et e_2 (*fig.* 9).

Les principes précédents ne s'appliquent, d'ailleurs, pas seulement au compteur d'Aron.

Compteurs de l'Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft. — Ces compteurs sont des compteurs oscillants caractérisés par ce fait que la minuterie avance de quantités égales à chaque oscillation du compteur; c'est donc la périodicité de ces oscillations qui varie avec la puissance à mesurer et est proportionnelle à cette puissance. Ces compteurs s'appliquent exclusivement au courant continu; la même Société emploie le compteur Hummel pour le courant alternatif.

Imaginons un wattmètre dont la bobine à fil fin puisse osciller entre deux positions extrêmes; si, chaque fois qu'elle atteint une de ces positions, on inverse le courant qui la parcourt, elle prendra un mouvement oscillatoire dont la fréquence sera proportionnelle au couple, à condition que le mouvement soit constamment amorti, comme dans un compteur Thomson, par exemple, de manière que, à chaque instant, la vitesse angulaire soit elle-même proportionnelle au couple.

L'inversion du courant dans une bobine à fil fin provoque, en général, des étincelles nuisibles aux contacts ; pour éviter ces étincelles, l'*A. E. G.* constitue la bobine mobile par deux enroulements exactement égaux et opposés; l'inversion du couple s'obtient simplement par la mise en court-circuit alternative de ces deux moitiés de l'enroulement.

Pour transmettre le mouvement à la minuterie, on emploie un relais qui est commandé par le wattmètre de la manière suivante : Le circuit dérivé (*fig.* 10) comprend (outre les résistances ordinaires) : 1° un électro-aimant fixe A; 2° la première moitié de la bobine mobile à fil fin, B; 3° la deuxième moitié de cette bobine, C; 4° un deuxième électro-aimant fixe D. Deux armatures A′ et D′ solidaires mécaniquement, mais magnétiquement différentes, peuvent osciller entre les électro-aimants A et D, en faisant avancer chaque fois, au moyen d'un cliquet, la minuterie d'une même quantité; de plus, ces armatures, suivant qu'elles sont attirées par l'électro A ou l'électro D, mettent en court-circuit la moitié B ou la moitié C de la bobine mobile. Cette bobine elle-même porte un bras, non représenté sur la figure, qui, arrivé aux deux extrémités de sa course, mettra respectivement en court-circuit, pendant un temps très court, les deux électros A et D. Cela posé, le fonctionnement de l'appareil est

facile à comprendre : partons d'un moment où la bobine mobile est au milieu de sa course, le courant passant, par exemple, dans la moitié B, et la moitié C étant en court-circuit; arrivée au bout de sa course, elle met en court-circuit, pendant un temps très court,

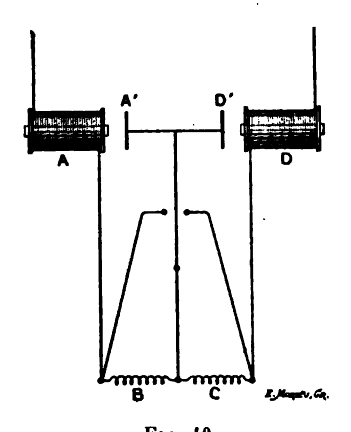


FIG. 10.

l'électro-aimant D; aussitôt l'électro A attire son armature et met en court-circuit la moitié B, tandis que le courant passe dans la moitié C; le mouvement de la bobine mobile change de sens; lorsqu'elle arrive à l'autre extrémité de sa course, les phénomènes inverses se produisent, l'électro A est mis en court-circuit pendant un temps très court, l'armature est attirée par l'électro D et met à son tour en court-circuit la moitié C de la bobine, le courant passe alors dans la moitié B, et le mouvement s'inverse. Le mouvement de va-et-vient des armatures est utilisé pour faire avancer chaque fois d'une même quantité une roue à rochet.

On voit facilement que cette disposition a pour résultat de donner une mobilité très grande au système mobile, puisque ce système n'est plus chargé, comme dans les compteurs-moteurs, de faire avancer tout le mouvement d'horlogerie ; au lieu du collecteur, qui exige toujours un certain entretien et entraîne toujours un certain couple résistant dû aux frottements des balais, on emploie, pour amener le courant dans la bobine mobile, trois fils très fins (les deux bobines ayant une extrémité commune) choisis assez longs pour que leur torsion ne produise aucun couple appréciable sur le système mobile. La minuterie, étant actionnée par un relais spécial, peut évi-

demment être séparée du wattmètre proprement dit et placée aussi loin que l'on veut, ce qui, dans certains cas spéciaux, peut être avantageux. La courbe d'erreur de ce compteur est caractéristique : pour les faibles charges, l'erreur est négative, elle commence par diminuer en valeur absolue, passe par zéro, devient positive, passe par un maximum pour une charge égale environ à 10 0/0 de la charge maxima, s'annule de nouveau à 60 0/0 de la charge maxima, puis redevient négative. On peut attribuer ces variations aux causes suivantes : au début, comme dans tous les compteurs, le frottement au départ cause un retard, puis l'importance relative de ce frottement diminue et le compteur tend à devenir exact ; plus tard, apparaît une autre cause de retard : c'est le temps perdu à chaque demi-oscillation au moment de l'inversion du courant, temps perdu dont l'importance relative devient d'autant plus grande que les oscillations deviennent plus rapides.

COMPTEURS A INTÉGRATION DISCONTINUE.

Ces compteurs, qui, en 1889, semblaient être les plus scientifiques et les plus perfectionnés, ont perdu plutôt de leur importance, sans doute à cause de leur complication.

Compteur Brown et Routin. — MM. Brown et Routin se sont proposé de permettre aux stations centrales d'appliquer, suivant les heures de la journée, autant de tarifs variables que l'on voudra. Ce système est fort intéressant en ce sens qu'il permet de suivre aussi exactement que possible la loi économique de l'offre et de la demande : Étant donnée la courbe de charge d'une usine centrale, courbe dont la forme dépend des habitudes et des besoins de la clientèle, il est logique de baisser beaucoup le prix du kilowatt-heure aux heures de faible consommation et de le maintenir maximum à l'heure du coup de feu, et, entre les deux, de proportionner le prix à la demande ; cette répartition des tarifs aura alors l'influence la plus heureuse sur la forme même de la courbe en tendant à l'uniformiser.

L'organe principal est un wattmètre dont la déviation, proportionnelle aux watts à mesurer, entraîne une came excentrique convenablement calculée ; contre cette came vient appuyer, à des intervalles de temps égaux, un levier dont la course, réglée par la came,

est proportionnelle à la puissance ; à chaque fois, ce levier fait avancer d'une quantité proportionnelle le rouage totalisateur.

Mais, tandis que, dans les appareils ordinaires de cette catégorie, la période d'intégration est toujours la même et réglée par l'appareil lui-même, ici la période d'intégration est essentiellement variable et, c'est là le point à remarquer, à la disposition absolue de la station génératrice ; c'est une *horloge mère* unique placée dans cette station qui envoie dans le réseau, à des intervalles de temps réglables à volonté, des courants parasites destinés à agir, dans chaque compteur, sur l'électro-aimant qui commande l'intégration des indications du wattmètre. Le point le plus original de l'invention consiste dans l'artifice employé pour empêcher ces courants parasites de se confondre avec les courants principaux du réseau : s'il s'agit d'un réseau à courants continus, l'horloge mère y envoie à des intervalles de temps égaux et réglables, et pendant une durée très courte, un courant alternatif, de préférence à fréquence un peu élevée, fourni par un alternateur auxiliaire ; un des pôles de cet alternateur communique avec la terre, l'autre avec un fil A de la canalisation ; à l'arrivée chez l'abonné, l'électro-aimant du système intégrateur communique, d'une part, avec le fil A, d'autre part avec un condensateur dont la seconde armature est mise à la terre ; par cet artifice, le courant continu, étant isolé de la terre par le diélectrique du condensateur, ne peut pas passer, tandis que, comme on le sait, le courant alternatif peut agir dans ces conditions. S'il s'agit d'une distribution par courants alternatifs à basse tension, par un réseau secondaire partant d'une sous-station, par exemple, l'horloge mère sera placée dans cette sous-station et enverra, cette fois, dans le réseau, du courant continu ; l'électro-aimant intégrateur, chez chaque abonné, sera ici séparé du sol non plus par un condensateur, mais par une bobine de self-induction. Enfin, s'il s'agit d'une distribution par courants alternatifs à haute tension avec transformateur chez les abonnés, il est nécessaire de faire partir de l'usine centrale un fil spécial pour les électro-aimants intégrateurs.

Tel est ce système fort remarquable, qui est actuellement à l'essai dans une partie de la ville de Bordeaux.

Compteur Siemens. — Ce compteur se compose d'un wattmètre (ou, s'il s'agit d'un compteur de quantité, d'un ampèremètre) à lecture directe : l'index de l'appareil est amené périodiquement (en pratique, toutes les 3,75 secondes) à sa position zéro, et un rouage

totalisateur additionne ces angles successifs ; pour cela, un balancier semblable aux balanciers de montre, mais de plus grande dimension, oscille périodiquement ; le mouvement de ce balancier est entretenu, grâce à un dispositif facile à imaginer, par un électro-aimant ; il porte un petit cliquet, qui, normalement, se meut à une très petite distance d'une roue à rochet constituant le premier mobile d'un train d'engrenages ; dès que ce cliquet rencontre l'index du wattmètre, il se met en prise avec la roue et la fait avancer ; une butée convenable arrête le mouvement dès que l'index est revenu au zéro ; puis la même série de phénomènes se reproduit périodiquement. Grâce à la grande inertie de l'index du système de mesure et à la faible inertie du cliquet, l'index n'a pas le temps de se déplacer d'une manière sensible avant que le cliquet ne vienne en prise avec la roue finement dentée. D'après les données des constructeurs, la dépense à vide d'un tel compteur ne dépasse pas 1 watt sous 100 volts, et l'erreur n'atteint pas 2 0/0 dès que la charge dépasse 3,3 0/0 de la charge maxima.

Compteur Holden. — Nous rattacherons également au type des compteurs à intégration discontinue le compteur Holden, qui avait été exposé par M. Garfield. Le principe en est assez intéressant et participe à la fois du compteur à oscillation et du compteur à intégration discontinue.

Un mouvement d'horlogerie (à remontage électromagnétique) envoie à des intervalles de temps égaux, en pratique toutes les minutes, le courant dans le circuit à fil fin d'un wattmètre ordinaire ; cette bobine est déviée d'un angle θ, limité par une butée fixe et, par conséquent, toujours le même, quelle que soit la puissance à mesurer ; des ressorts antagonistes, dont la tension s'accroît par la rotation du système mobile, ramènent en arrière ce système dès que le courant n'y passe plus : en pratique, un intervalle de temps de 1,5 seconde suffit pour que la bobine parcoure l'angle θ.

Cette bobine entraîne dans son mouvement, au moyen d'un cliquet et d'une roue finement dentée, un système amortisseur très différent des amortisseurs ordinaires ; le disque mobile entre des pôles d'aimants est en fer, et non en cuivre, en sorte que le couple résistant provenant de l'hystérésis est constant et indépendant de la vitesse du disque : l'auteur admet implicitement que le couple provenant des courants de Foucault est négligeable par rapport à celui-là ; c'est une critique assez sérieuse qu'on peut lui adresser, ce sera à l'expé-

rience à justifier cette approximation. La course de ce disque, n'étant pas limitée par une butée, peut continuer librement jusqu'à ce que toute son énergie cinétique ait été consommée par l'hystérésis. Soient alors C le couple moyen qui s'exerce entre les bobines fixes et mobiles, couple proportionnel à la puissance à mesurer ; S, le couple moyen dû au ressort ; D, le couple dû à l'hystérésis. Le travail total du courant est $C\theta$; ce travail est employé : 1° à surmonter le couple résistant des ressorts ; 2° à surmonter le couple résistant dû à l'hystérésis ; 3° à communiquer au système une certaine énergie cinétique W. On a donc :

$$C\theta = S\theta + D\theta + W;$$

d'où :

$$W = (C - S - D)\theta.$$

Cette énergie cinétique se partage entre la bobine et le disque en raison directe des moments d'inertie. Soient M le moment d'inertie du disque, m celui de la bobine ; l'énergie cinétique de la bobine à la fin de sa course sera

$$W \frac{m}{M + m},$$

et celle du disque au même moment sera

$$W \frac{M}{M + m}.$$

La première sera détruite par le choc contre les butées ; la deuxième sera absorbée par l'hystérésis du disque. Soit Φ l'angle total d'impulsion du disque ; l'angle dont il tournera après l'arrêt de la bobine sera $\Phi - \theta$, et l'énergie absorbée par hystérésis sera :

$$D(\Phi - \theta).$$

On aura donc :

$$W \frac{M + m}{m} = D(\Phi - \theta),$$

ou :

$$(C - S - D)\theta \frac{M + m}{m} = D(\Phi - \theta);$$

d'où :

$$D\Phi = \left(C \frac{m}{M + m} - S \frac{m}{M + m} + D \frac{M}{M + m}\right)\theta.$$

Si l'on veut que l'angle Φ dont le disque avance toutes les minutes

soit proportionnel à C, il faudra faire en sorte que :

$$DM = Sm.$$

On y arrivera par un réglage convenable des ressorts et du champ magnétique auquel est soumis le disque de fer.

Sur la durée d'émission des rayons Röntgen ;

Par M. E. Colardeau [1].

Lorsque les rayons cathodiques viennent frapper l'anticathode d'un tube de Crookes et donnent naissance à des rayons X, on peut se demander si la durée d'émission de ces rayons est plus longue que celle de la décharge électrique à travers le tube.

En 1896, au moyen d'un dispositif très rudimentaire, permettant seulement d'obtenir un renseignement grossièrement approximatif, j'avais été amené à conclure que la durée d'émission des rayons X produits par chaque décharge est de l'ordre de grandeur de $\frac{1}{1000^e}$ de seconde. Plusieurs autres expérimentateurs, dont quelques-uns ont publié leurs travaux récemment, sont arrivés, de leur côté, à une conclusion analogue.

Ayant repris moi-même la question, j'ai été amené à constater que les résultats obtenus peuvent être très différents, suivant la manière dont on produit la décharge dans le tube.

Dans le dispositif que j'ai employé, l'anticathode d'un tube à rayons X est placée à une distance de 2 centimètres environ d'une plaque photographique horizontale. Cette plaque est enfermée dans une boîte formée d'une feuille d'aluminium très mince, supportée, elle-même, par un axe vertical qui permet, à l'aide d'un puissant mouvement d'horlogerie, de donner à la plaque un mouvement rapide de rotation dans son propre plan.

Entre le tube à rayons X et la surface sensible est intercalée une lame épaisse de cuivre percée d'une fente dont la direction prolongée va passer par le centre de rotation de la plaque photographique. Le milieu de cette fente se trouve sur la perpendiculaire abaissée de

---

(1) Séance du 15 mars 1901.

l'anticathode sur la plaque photographique, et non loin des bords de celle-ci, tout contre la surface sensible.

Supposons d'abord cette plaque immobile. Si l'on fait passer une décharge dans le tube, en produisant une seule interruption du courant inducteur de la bobine, on obtient, au développement de la plaque, une image de la fente. Cette image est, à la fois, nette et intense, à cause de la courte distance qui sépare la surface sensible de la fente et du point d'émission des rayons X. La boîte d'aluminium protège d'ailleurs cette surface contre toute étincelle qui, partant directement d'un point de la paroi du tube, portée à haut potentiel, pourrait l'impressionner en contournant la plaque portant la fente.

Admettons maintenant que la plaque photographique tourne d'un mouvement rapide. Si le phénomène d'émission des rayons X n'a pas de durée appréciable, on aura encore une image nette de la fente. Mais, si cette émission dure un certain temps, on aura une image étalée dans le sens du mouvement, suivant un secteur de cercle. — La mesure de l'angle au centre de ce secteur, jointe à la connaissance de la vitesse de rotation, permettra d'évaluer immédiatement la durée du phénomène.

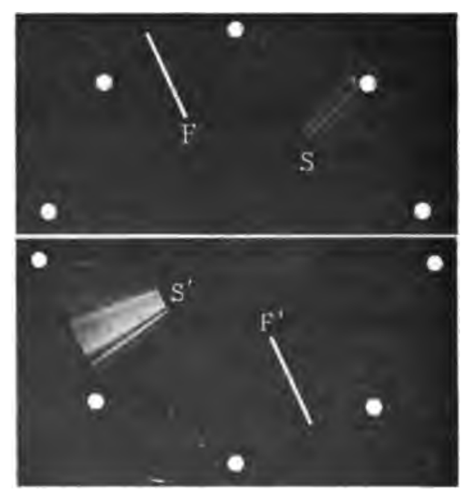


Fig. 1.

La *fig.* 1 ci-jointe représente deux des nombreuses épreuves obtenues dans ces conditions, à l'aide d'une seule rupture du courant

primaire de la bobine d'induction. Le tube était mis directement en relation avec les deux extrémités du circuit induit par deux fils ne présentant aucune solution de continuité. La plaque tournait avec une vitesse de 43,1 tours par seconde.

On voit en S, S' les secteurs suivant lesquels se sont étalées les images de la fente pendant la décharge. L'angle au centre du secteur S est de 24°,5 ce qui correspond à une durée d'émission de 0",0015. Cette durée n'a d'ailleurs, rien d'absolu : elle est manifestement plus grande dans le cas du secteur S' et, dans les divers clichés que j'ai obtenus elle varie entre 0",0012 et 0",0022.

Sur la *fig.* 1, les lignes blanches très nettes, FF', sont des images de la fente quand la plaque est en repos. Quant aux taches blanches que l'on voit sur le pourtour de l'épreuve, ce sont les images d'une ouverture circulaire qui a été momentanément substituée à la fente et au-dessus de laquelle on a fait éclater une décharge à travers le tube pour plusieurs positions, à peu près équidistantes, de la plaque photographique à l'arrêt. Ces images permettent de retrouver immédiatement sur le cliché le centre de rotation et, par suite, de mesurer avec la plus grande facilité l'angle au centre du secteur (1).

Si l'on examine avec attention l'aspect du secteur, on voit qu'il accuse une grande complexité de la décharge à travers le tube. Cette décharge se compose, en réalité, d'une série d'autres, très nombreuses, se succédant à intervalles très rapprochés, et dont chacune donne lieu à une image de la fente. De là cet aspect cannelé qui rappelle l'apparence d'un spectre discontinu étalé suivant un secteur de cercle. Cet aspect est d'ailleurs variable d'une étincelle à l'autre ainsi qu'on le voit par les deux secteurs SS'. D'après cela, les durées de 0",0012 à 0",0022, dont il a été parlé tout à l'heure s'étendent à tout cet ensemble et non à chaque décharge séparément.

Cette multiplicité des décharges, due à une seule interruption du circuit inducteur, a déjà été constatée et étudiée par M. Abraham dans l'étincelle de la bobine d'induction. Elle s'explique facilement. En effet, l'ensemble de la bobine et du tube à rayons X constitue un système ayant, dans les conditions où il est placé, une capacité élec-

---

(1) La ligne blanche horizontale qui traverse la figure 1 dans toute sa largeur est due à ce que cette figure a été obtenue par le rapprochement de deux moitiés de clichés distincts, afin de faire voir simultanément deux secteurs SS' correspondant à deux étincelles différentes. Le lecteur fera donc abstraction de cette ligne blanche.

trique déterminée. D'autre part, pour qu'une décharge traverse le tube, il faut qu'il y ait entre les électrodes de celui-ci une différence de potentiel également bien déterminée. Or il peut arriver que la quantité d'électricité mise en jeu par une seule rupture du courant inducteur soit suffisante pour porter plusieurs fois de suite les électrodes du tube à cette différence de potentiel. On a donc autant de décharges qui se succèdent les unes à la suite des autres et qui donnent le résultat complexe qui vient d'être décrit.

Pour étudier le phénomène réduit à son maximum de simplicité, il faudrait modifier le dispositif expérimental de manière à obtenir une seule décharge. Il suffit, pour cela, d'annexer à la bobine un condensateur dont les deux armatures sont reliées aux deux extrémités du circuit induit. Ce condensateur se trouve ainsi mis en dérivation avec le tube, sur le circuit secondaire de la bobine. D'autre part, les résultats obtenus sont plus nets quand on ménage, sur le circuit qui va de la bobine au tube, un intervalle d'air, où se produit une étincelle quand la décharge traverse le tube. Quand cet intervalle d'air est convenablement réglé, ainsi que la capacité du condensateur, on n'obtient plus qu'une seule décharge dans le circuit induit, pour une interruption du courant primaire.



Fig. 2.

Dans ces conditions, le phénomène enregistré par la plaque photographique est tout différent de ce qu'il était tout à l'heure. L'aspect de la fente photographique pendant la rotation de la plaque ne diffère plus de ce qu'on obtient quand cette plaque est immobile. La *fig.* 2 est la reproduction de l'un des clichés ainsi obtenus. On l'a choisi de manière que les deux images de la fente, produites l'une au repos, l'autre pendant la rotation, soient voisines l'une de l'autre, afin de permettre une comparaison plus facile. On voit qu'il est impossible d'attribuer aucun étalement appréciable, suivant un secteur, à l'une de ces images.

La largeur de la fente est $0^{mm},4$ environ. La vitesse de rotation, de 43,1 tours par seconde, correspond à un déplacement de l'extrémité de la fente égal à près de 17.000 fois sa largeur pendant une seconde. Or un étalement de la fente égal au tiers de sa largeur serait certainement apprécié immédiatement à l'œil nu sur les clichés ci-joints. Cet étalement correspondrait à $\frac{1}{50.000^e}$ de seconde.

Nous sommes donc conduits à conclure, d'après ces résultats, que la durée réelle d'émission des rayons X, produits par la décharge, est bien moindre que ne le feraient croire les expériences réalisées de prime abord. Cette durée serait inférieure à $\frac{1}{50.000^e}$ de seconde.

Nouveaux réfractomètres ;

Par M. P. Culmann [1].

Les quatre réfractomètres [2] que je vais décrire sont construits pour les liquides; néanmoins, ils permettent d'opérer sur les solides; mais les mesures sont alors moins commodes ; aussi ne parlerai-je ici que de leur application aux liquides.

Les instruments dont il s'agit utilisent l'incidence rasante. Ce cas particulier de la réfraction donne des formules aussi simples que celles de la réflexion totale, car la marche du rayon limite est déterminée par des formules tout à fait analogues dans les deux cas ; mais l'incidence rasante a sur la réflexion totale l'avantage de donner une limite plus tranchée, l'une des plages étant absolument noire, l'autre claire, tandis que, pour la réflexion totale, il n'y a qu'une différence de clarté, plus difficile à apprécier entre les deux plages.

Réfractomètre à angle variable. — Le réfractomètre à angle variable (*fig.* 1) réalise le plus directement le principe de la méthode. Le liquide à examiner est contenu dans un vase dont le fond est formé par une lame de verre à faces parallèles, B (*fig.* 2). On éclaire la lame, sous l'incidence rasante, par un faisceau de rayons monochromatiques. Suivons le rayon limite tracé sur la

---

(1) Séance du 15 mars 1901.

(2) Construits par la Maison Zeiss, de Iéna.

figure. Les faces de la lame étant parallèles, tout se passe comme si le rayon allait directement, sous l'incidence rasante, de l'air

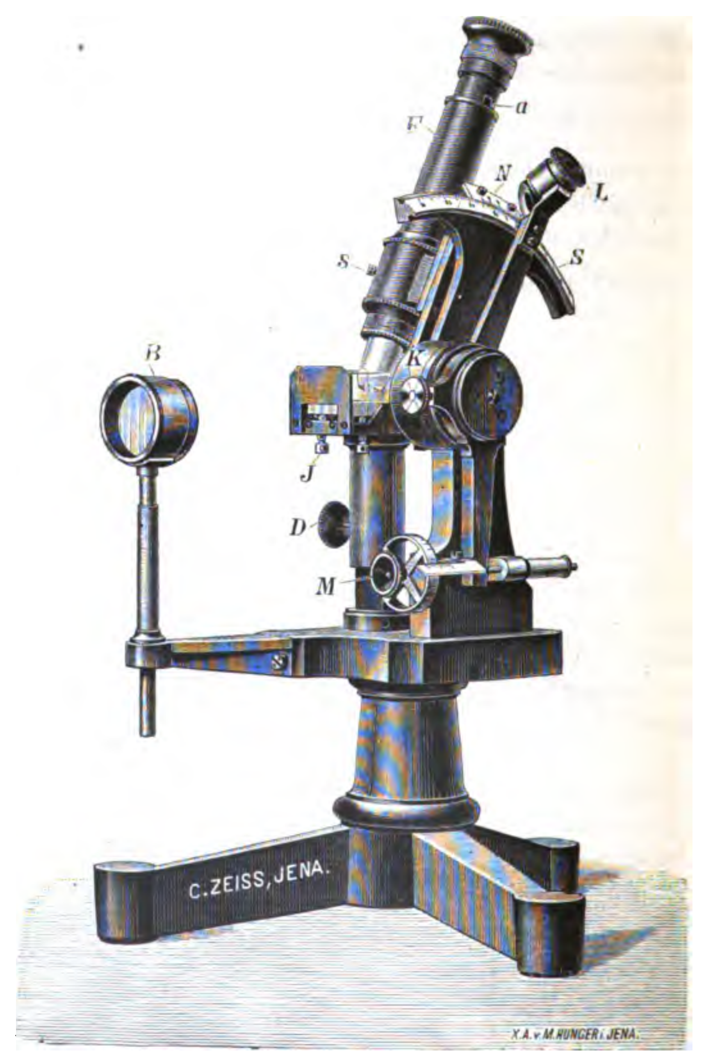


Fig. 1.

au liquide, et l'angle de réfraction e du rayon dans le liquide est donné par l'équation :

$$n \sin e = 1,$$

si nous désignons par n l'indice du liquide. Il suffira donc de mesurer e pour obtenir $n = \text{cosec } e$. On se sert, à cet effet, d'un viseur F (*fig.* 1) pointé à l'infini. Le viseur tourne autour d'un axe parallèle aux faces de la lame B. Il fait corps avec un vernier N qui se déplace sur un cercle fixe S. Quand le vernier est au zéro, l'axe optique du viseur doit être perpendiculaire à la lame B. Le viseur porte, devant son objectif, un cône tronqué en verre G (*fig.* 2), dont

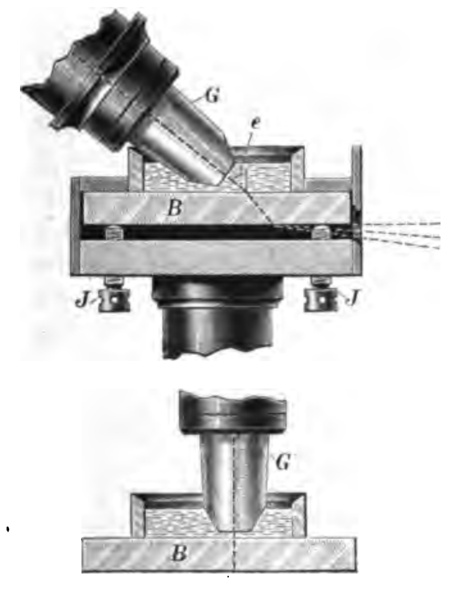


Fig. 2.

les faces planes sont normales à l'axe optique du viseur; la face inférieure du cône pénètre dans le liquide. Si nous amenons la croisée des fils sur le rayon limite, l'angle mesuré par le vernier sera l'angle e de notre formule, car le rayon limite ne subira aucune déviation dans le viseur.

M. Pulfrich, l'inventeur de cet appareil, l'a nommé réfractomètre à angle variable, parce que la partie du liquide traversée par le rayon limite affecte la forme d'un prisme, dont l'angle, égal à l'angle e de notre formule, est variable.

Pour vérifier si les faces planes du cône G sont normales à l'axe optique du viseur, on se sert de l'autocollimation. Afin de laisser la croisée des fils entièrement libre, une partie latérale seulement du

réticule est éclairée par un prisme à réflexion totale placé derrière la petite fenêtre *a* du viseur.

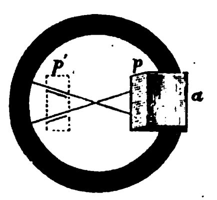


Fig. 3.

L'image p' (*fig.* 3), obtenue par réflexion sur les faces du cône, doit se superposer exactement au réticule. La rectification se fait en déplaçant l'objectif du viseur à l'aide de deux vis *s*, jusqu'à ce que la superposition soit obtenue. Cette première vérification faite, on amène le vernier sur le zéro du cercle divisé et on vérifie, toujours par autocollimation, si l'axe optique est normal aux faces de la lame B. Pour la rectification, on déplace la lame à l'aide des vis J.

La lame B peut s'approcher très près du cône G. Ce cône est taillé en biseau par deux plans parallèles à l'axe de rotation, comme on le voit sur la figure. L'axe de rotation passe par l'arête inférieure du cône G. Cette arête reste, par conséquent, immobile quand on déplace le viseur, et l'on ne risque pas d'endommager la lame, même lorsqu'elle se trouve très près du cône.

Le vase qui contient le liquide est simplement posé sur les vis J et retenu par les rebords de son support. Celui-ci se déplace de haut en bas sur une colonne prismatique et se fixe à l'aide de la vis D.

Le cercle est divisé en demi-degrés, le vernier donne la minute. Si l'on fait une erreur Δe dans la lecture de l'angle, l'erreur correspondante de l'indice Δn sera donnée par l'équation :

$$\Delta n = -\frac{\Delta e}{\sin e \ \operatorname{tang} e}.$$

Le tableau suivant donne, en unités du quatrième chiffre décimal, l'erreur de n correspondant à une erreur de lecture d'une minute sexagésimale :

n	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3
e	50°,17'	41°,49'	36°,2'	31°,45	28°,26	25°,46
Δn	3,1	4,9	6,8	8,9	11,3	13,9

Pour les mesures de dispersion, on peut obtenir une exactitude relative, environ dix fois plus grande, à l'aide du mouvement micrométrique M. Le tambour indique les dixièmes de minute, il permet un déplacement de 5°.

La lentille B sert pour l'éclairage. On place la flamme de manière à ce que son image soit projetée sur l'écran à ouverture rectangulaire qui se trouve devant le vase contenant le liquide.

On peut adapter sur l'oculaire un diaphragme, percé d'une ouverture rectangulaire correspondant exactement à l'image de la face inférieure du cône G. Ce diaphragme intercepte les rayons réfléchis sur les biseaux du cône.

Au point de vue pratique, le réfractomètre à angle variable a sur le réfractomètre d'Abbe l'avantage de permettre la mesure d'indices plus élevés; car, dans le réfractomètre d'Abbe, l'incidence rasante se produit au passage du liquide au verre; il n'existe donc de rayon limite qu'à la condition que le verre soit plus réfringent que le liquide. Ici on peut dire que l'incidence rasante se fait au passage de l'air au liquide : il y a, par conséquent, toujours un rayon limite.

Dans le réfractomètre d'Abbe, on est obligé de choisir le verre du prisme supérieur parmi les flints lourds pour ne pas trop restreindre l'échelle limitée, comme nous venons de le voir, par l'indice de ce verre. Ces flints lourds sont assez délicats. Dans le réfractomètre à angle variable, les verres en contact avec le liquide n'interviennent pas dans les mesures et peuvent être pris parmi les fontes qui résistent bien aux acides.

Malgré ces deux avantages, on donnera, en général, la préférence au réfractomètre d'Abbe et on réservera le réfractomètre à angle variable aux liquides, rares d'ailleurs, dont l'indice tombe hors de l'échelle de cet instrument, et aux acides qui risqueraient d'attaquer le verre de ses prismes. Le réfractomètre à angle variable laisse le liquide à découvert, ce qui a l'inconvénient de rendre difficile la mesure de la température, quand le liquide est sujet à s'évaporer rapidement. Il ne permet pas d'élever et de maintenir constante la température du liquide à étudier et, par suite, ne convient pas aux matières ne se liquéfiant pas à la température ordinaire. En outre, il donne moins de précision, tout en exigeant une plus grande quantité de liquide, et n'est pas organisé pour l'emploi de la lumière blanche.

Réfractomètre d'Abbe. — Le réfractomètre d'Abbe a été décrit, en 1874, par son inventeur. Je rappellerai ici sa construction, parce que deux des réfractomètres nouveaux que j'ai présentés à la Société de Physique en dérivent. Deux prismes en flint a et b (Voir plus loin, *fig.* 8, les lettres a et b ne sont pas marquées) renferment entre eux une couche mince (épaisseur environ 1/20 de millimètre) du liquide à examiner. Le prisme inférieur b ne sert qu'à retenir le liquide et à faciliter l'éclairage du prisme supérieur a. La face du prisme b, qui est en contact avec le liquide, n'est plus polie, dans les derniers modèles de l'instrument, afin d'éviter les réflexions nuisibles qui s'y produisaient. Les deux faces hypoténuses des prismes a et b doivent être très rapprochées l'une de l'autre pour que l'on puisse admettre que la lumière pénétrant dans le second prisme a contient bien des rayons formant avec la normale un angle de 90°. Supposons cette condition remplie et suivons le rayon limite. En adoptant les lettres marquées sur la figure, nous aurons, si nous désignons par n l'indice du liquide, par N celui du prisme a, et par α l'angle réfringent du prisme :

$$n = \mathrm{N} \sin e$$
$$r = \alpha - e$$
$$\mathrm{N} \sin r = \sin i.$$

On voit que l'angle d'émergence i est, pour un prisme donné, fonction de l'indice du liquide n. Dirigeons un viseur fixe F (*fig.* 4), pointé à l'infini, sur le système des deux prismes a et b, et faisons tourner ceux-ci jusqu'à ce que le rayon limite tombe sur la croisée des fils : l'angle de rotation sera l'angle i, si nous mesurons cet angle à partir de la position pour laquelle l'axe du viseur est normal à la face extérieure du prisme a, i étant fonction de n seulement, on pourra graduer le cercle S qui mesure cet angle, de manière à ce qu'il donne directement les indices n du liquide. C'est ce qui a été fait par la maison Zeiss (le vernier I du cercle S est solidaire du système des prismes a et b contenus dans les boîtes métalliques A et B). Supposons la graduation établie pour une couleur donnée p — M. Abbe a choisi la lumière du sodium — une autre couleur q donnera une limite différente et, en lumière blanche, la limite sera colorée.

Cet inconvénient peut être évité. Soient dn et $d\mathrm{N}$ les accroissements que subissent les indices n et N lorsqu'on passe de la couleur p à la couleur q. L'accroissement correspondant di de l'angle d'émergence i s'obtiendra en différenciant les équations écrites plus haut :

on aura :

$$di = \frac{\sin\alpha \,.\, dN - \cos r \,.\, dn}{\cos i \, \cos e}.$$



Fig. 4.

On peut donc, en annulant sin αdN — cos rdn, annuler la dispersion di pour un liquide donné. La limite tombe alors en même temps sur la croisée des fils pour les deux couleurs p et q, et paraît achromatique en lumière blanche. Mais, en opérant ainsi, ce résultat n'est obtenu que pour une seule valeur de $\frac{dn}{dN} = \frac{\sin\alpha}{\cos r}$, c'est-à-dire pour un seul liquide. Pour un liquide différent, di n'est, en général, pas nul. On ne pourra donc employer ce procédé d'achromatisation que pour les réfractomètres destinés à un liquide particulier, par exemple au beurre fondu. Le réfractomètre d'Abbe devant s'employer, au con-

traire, avec des liquides de nature très diverse, il a fallu recourir pour cet instrument à un autre moyen de rendre la limite incolore en lumière blanche. Le dispositif imaginé à cet effet par M. Abbe pourrait s'appeler un diasporomètre à vision directe. Deux prismes identiques *c* et *d*, à vision directe pour la couleur *p*, sont placés l'un derrière l'autre devant l'objectif du viseur. Leurs sections principales se coupent sur l'axe optique O du viseur (*fig.* 5). Soient OL = K et OM = K les dispersions propres de chacun de ces deux prismes.

Leur effet s'ajoutant, ils produiront une dispersion totale ON = 2K cos *z*, si nous désignons par 2*z* l'angle que forment entre elles leurs sections principales, et cette dispersion résultante 2K cos *z* aura la direction de la bissectrice de l'angle des sections principales OM et OL. Supposons d'abord l'angle *z* égal à zéro et les sections principales des prismes *c* et *d* parallèles à la section principale du prisme *a*, puis tournons l'un des prismes *c* et *d* à gauche, l'autre à

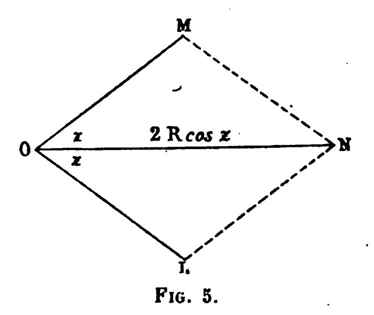


Fig. 5.

droite d'un même angle *z*. La dispersion, égale d'abord à 2K, prendra successivement toutes les valeurs comprises entre 2K et zéro, puis changera de signe et augmentera de nouveau en valeur absolue jusqu'à 2K. La direction de cette dispersion, résultant de l'action des deux prismes *c* et *d*, restera toujours celle du plan de la section principale de *a*. On pourra donc, en faisant varier *z*, compenser la dispersion *di* par une dispersion 2K cos *z* dirigée en sens contraire, et cela quelle que soit la valeur de *di*, pourvu qu'elle ne dépasse pas 2K. La limite coïncidera alors pour les couleurs *p* et *q* et paraîtra presque incolore en lumière blanche pour les liquides dont la dispersion n'est pas anormale. Nous avons supposé la graduation du limbe établie pour la couleur *p* : les prismes *c* et *d* laissant passer sans la dévier cette couleur, la graduation donnera, même en lumière blanche, l'indice correspondant

à la couleur p et non celui qui correspond à la partie la plus claire du spectre, comme on pourrait le croire au premier abord.

L'angle z, nécessaire pour obtenir l'achromatisme, peut servir à mesurer approximativement la dispersion du liquide. La limite devient blanche quand la dispersion des prismes c et d est, en valeur absolue, égale à di. Egalant ces deux valeurs, on trouve :

$$dn = 2k \frac{\cos i \cos e \cos z}{\cos r} + \frac{\sin \alpha}{\cos r} dN = g \cos z + h,$$

g et h étant, pour un instrument donné, des fonctions de l'indice n du liquide, fonctions qu'on peut mettre en forme de tables, comme l'a fait la maison Zeiss. On sait que les rapports des dispersions dn, dN et K ne sont pas les mêmes pour toutes les couleurs. L'expérience a montré que les valeurs obtenues pour dn sont, en général, assez exactes, si l'on prend pour dn, dN et K les dispersions correspondant à l'intervalle CF du spectre solaire.

La *fig.* 4 fait voir l'ensemble de l'appareil. Le miroir R renvoie la lumière sur le système des prismes a et b, entourés de boîtes métalliques à double paroi A et B, par lesquelles on peut faire circuler un courant d'eau froide ou chaude maintenu à température constante par un thermostat. Un thermomètre donne la température de l'eau, égale à celle du liquide quand le régime est devenu stationnaire. Le prisme inférieur pivote avec sa boîte B autour de la charnière c. Pour introduire le liquide, on renverse toute la partie supérieure de l'appareil, on tourne le bouton v, on écarte le prisme b, et on fait tomber une goutte du liquide sur le prisme a, puis on remet le prisme b en place et on ramène l'appareil à sa position primitive pour faire les mesures.

Le bouton M commande le mouvement des prismes c et d. C'est à l'aide de ce bouton qu'on achromatise la limite.

L'angle z se lit sur la division T, qui est arbitraire (une division vaut 3°).

Le réfractomètre d'Abbe peut s'employer pour les liquides dont l'indice est compris entre 1,3 et 1,7. Il donne ces indices à lecture directe, sans aucun calcul, à environ deux unités du quatrième chiffre décimal près. Il n'exige que quelques gouttes de liquide et permet d'élever et de maintenir constante la température du liquide avec l'aide d'un thermostat. Les mesures se font à la lumière blanche,

tout en donnant la valeur de l'indice pour la raie D du spectre solaire.

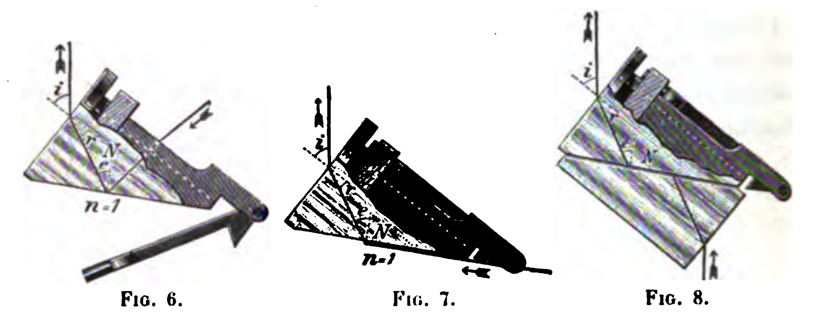


Fig. 6. Fig. 7. Fig. 8.

Réfractomètre de démonstration. — Le réfractomètre de démons-

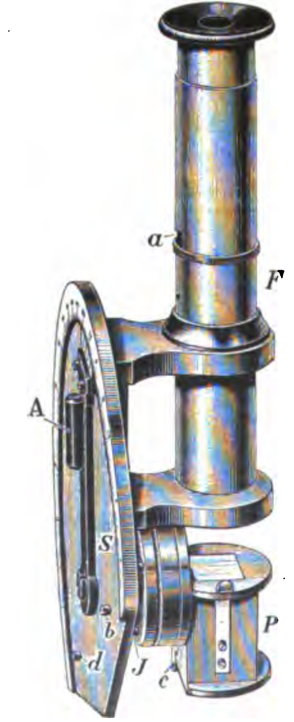


Fig. 9.

tration est un réfractomètre d'Abbe construit en vue des manipulations de physique. Toutes les constantes nécessaires pour le calcul

des indices se déterminent sur l'instrument lui-même. En outre, celui-ci permet de mettre en œuvre les trois méthodes qui se basent sur les propriétés du rayon limite : la réflexion totale (*fig.* 6), l'incidence rasante (*fig.* 7) et la méthode d'Abbe (*fig.* 8), et met bien en relief les différences d'aspect que la limite présente dans ces trois cas, soit en lumière blanche, soit en lumière homogène.

Pour simplifier l'appareil, on a supprimé le dispositif servant à achromatiser la limite. Les mesures précises doivent, par conséquent, être faites à la lumière monochromatique.

La lunette F (*fig.* 9) est autocollimatrice (le dispositif employé est identique à celui que nous avons décrit à propos du réfractomètre à angle variable) ; on peut donc facilement mesurer l'angle du prisme d et l'angle d'émergence i du rayon limite, puis calculer l'indice n du liquide par les équations données plus haut, quand on connaît l'indice N du prisme. Pour obtenir celui-ci, on commence par opérer sur l'air, n étant alors égal à 1, les équations donnent N. La mesure sur l'air se prête fort bien à l'emploi des trois méthodes caractérisées par les *fig.* 6, 7 et 8. Un petit volet à charnières masque la face inemployée du prisme.

L'instrument se manie à la main. On saisit la lunette de la main droite entre les deux montants qui la fixent sur le cercle et on manœuvre l'alidade A de la main gauche. Cette alidade fait corps avec le système des prismes et porte un vernier d donnant deux minutes ; le cercle lui-même est divisé en demi-degrés. Les trois vis I servent à régler la position du prisme.

Réfractomètre à immersion. — Nous avons remarqué, en décrivant le réfractomètre Abbe, que le prisme inférieur b de cet instrument n'intervenait pas dans les mesures. Dans le réfractomètre à immersion, ce prisme n'existe plus ; il ne reste que le prisme a du réfractomètre Abbe, désigné ici (*fig.* 10) par la lettre P. Le prisme P est directement immergé dans le liquide à examiner, ce qui a l'avantage de supprimer complètement les réflexions toujours plus ou moins nuisibles qui se produisent sur la face hypoténuse du prisme b. La limite est alors plus nette et supporte un grossissement plus considérable.

L'éclairage se fait, à l'aide d'un miroir S, par une paroi latérale (*fig.* 10) ou par le fond (*fig.* 11) d'un vase rempli d'eau dans lequel plongent les verres ou le récipient particulier contenant le liquide à examiner. La marche du rayon limite est marquée sur la *fig.* 10. Le

prisme P fait corps avec la lunette, comme toujours pointée à l'infini. Selon la direction du rayon limite, la limite se forme à un endroit différent du plan focal. Un micromètre placé dans ce plan permet de relever cette position, qui, pour un instrument donné, est fonction de l'indice du liquide. Une table donne les valeurs de l'indice correspondant aux lectures du micromètre. Pour faciliter l'estime des dixièmes, le micromètre est mobile. On peut le déplacer exactement d'une division à l'aide de la vis micrométrique Z, qui indique, sur son pourtour, les dixièmes à ajouter à la lecture des entiers, lorsqu'on a ramené avec la vis la limite sur le trait le plus voisin (vers les petits chiffres).

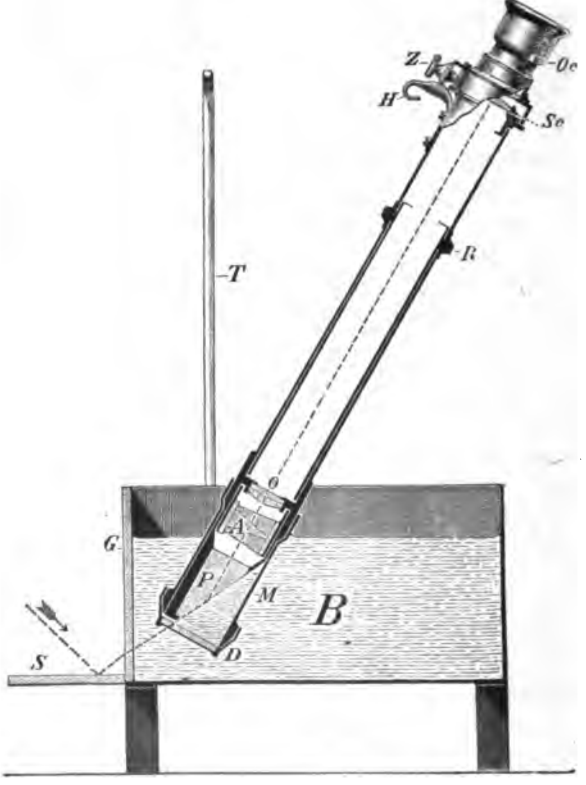


Fig. 10.

On aurait pu tracer sur le micromètre une division indiquant directement les indices. On s'est épargné ce travail, parce que l'ins-

trument s'emploie surtout pour le dosage des matières dissoutes dans l'eau, et que, pour ce genre de mesure, une division arbitraire rend les mêmes services qu'une division en indices, plus difficile à établir.



Fig. 11.

En se reportant à la figure, on voit que, dans cet instrument, il n'y a qu'un prisme à vision directe, A, au lieu de deux prismes, *c* et *d*, employés dans le réfractomètre Abbe. La section principale de ce prisme A est parallèle à l'axe optique. On peut faire tourner le prisme autour de cet axe à l'aide de la bague moletée R. Le prisme A est à vision directe pour la raie D du spectre solaire, et l'étalonnage du micromètre est fait pour cette même raie. Si la section principale du prisme A forme avec la section principale du prisme P un angle z, le premier prisme produira dans la section principale du second une

dispersion égale à K cos z qui pourra servir à compenser les dispersions créées sur les deux faces du prisme A, et la limite deviendra achromatique. Outre la dispersion K cos z dans la section principale de P, il existe, il est vrai, une dispersion K sin z normale à ce plan; mais, lorsque la dispersion totale est petite, comme c'est le cas pour les liquides examinés avec le réfractomètre à immersion, cette dispersion parasite ne gêne pas les mesures.

Par suite de son grossissement considérable (10), le réfractomètre à immersion a une échelle restreinte allant de $n = 1,325$ à $n = 1,367$ seulement. En revanche, il donne une précision estimée à 4 unités du cinquième chiffre décimal. L'instrument est destiné aux dosages de matières (sels, sucres, alcools) dissoutes dans l'eau. La mesure est des plus commodes. On trempe le prisme dans le liquide, comme un thermomètre (*fig.* 11), on achromatise la limite en manœuvrant la bague R, on la ramène sur une division entière du micromètre, on lit les entiers sur le micromètre, les dixièmes sur le pourtour de la vis Z, et, en consultant une table dressée une fois pour toutes, on obtient la teneur en sel, sucre ou alcool.

Pour les liquides volatils, on emploie un vase spécial M (*fig.* 10), qui s'adapte très aisément sur le réfractomètre. Le grand vase B contient de l'eau destinée à maintenir la température constante.

Le réfractomètre à immersion exige une plus grande quantité de liquide que le réfractomètre Abbe. Lorsqu'on ne dispose pas d'une quantité suffisante de liquide, on pose un petit prisme sur le prisme P tenu convenablement, et l'on introduit le liquide entre ces deux prismes.

Télautographe d'Elisha Gray-Ritchie;

Par M. Désiré Korda [1].

L'appareil constitue le « télégraphe » par excellence, c'est-à-dire un dispositif permettant la reproduction de l'écriture à distance, j'entends de l'écriture autographe de l'expéditeur qui apparaît sur le papier de l'appareil récepteur avec ses caractères plus ou moins

[1] Séance du 12 avril 1901.

embrouillés, avec ses illustrations, croquis et dessins, avec ses ratures et son authenticité (Voir schéma *fig.* 15).

Jamais un problème aussi difficile n'a été réalisé par des moyens électriques plus simples. Nous sommes loin des plaques hachurées de l'abbé Caselli, de même que des organes synchroniques réalisant l'impression mécanique des hachures employées par ceux qui suivaient la trace du savant abbé italien. Le télautographe met en rapport immédiat l'expéditeur et le destinataire, comme s'il s'agissait d'un échange de conversation téléphonique, la seule différence dans le résultat par rapport aux téléphones étant que la conversation est écrite au lieu d'être parlée. Les caractères tracés par l'expéditeur apparaissent au fur et à mesure de leur inscription sur le papier du destinataire, et celui-ci peut répondre de même dès que son « interlocuteur » a cessé d'écrire.

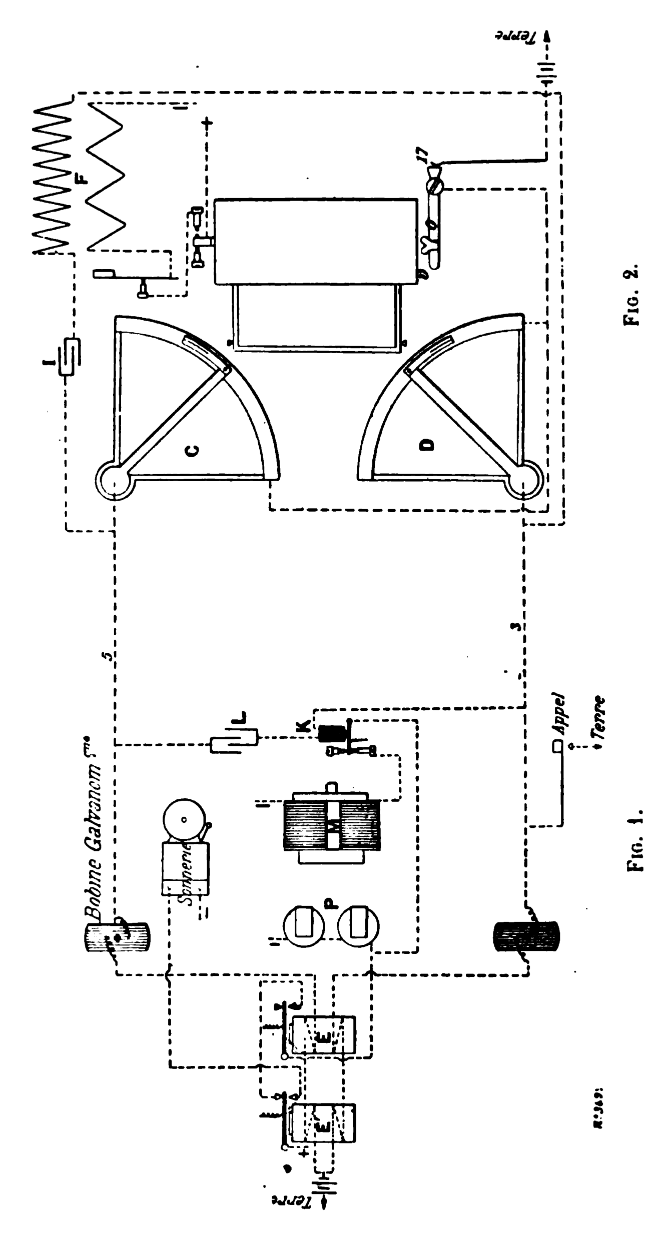
Elisha Gray, l'illustre inventeur du microphone, mort il y a quelques semaines à peine, s'est occupé depuis longtemps de la solution de ce problème. Mais son appareil était d'une construction compliquée, délicate, coûteuse et d'un réglage très difficile, à cause de tous les organes mécaniques qu'il contenait : moteur, mouvement d'horlogerie, embrayage, etc. Enfin le télautographe primitif de M. Gray était entaché d'un grave inconvénient pratique, c'est de nécessiter quatre fils entre les postes en communication.

M. Macpherson, un des élèves de M. Gray, a réussi à éliminer cet inconvénient et à ramener le nombre de fils nécessaires à deux, mais sans pouvoir se passer des organes délicats, des bobines et contacts sans nombre.

L'appareil actuel est dû à un autre élève de M. Gray, M. Ritchie. Dans cet appareil, plus de mouvement d'horlogerie, plus de complications mécaniques. Un nombre très restreint d'électro-aimants et les deux fils qui réunissent les deux postes en correspondance suffisent, au moyen d'un artifice ingénieux, à transmettre toutes les manœuvres de l'appareil. Nous allons exposer grâce à quels dispositifs tout cela peut se réaliser.

L'appareil comporte l'usage facultatif du téléphone ; on a prévu un commutateur actionné automatiquement par le poids de l'appareil téléphonique. En effet, lorsqu'on décroche le récepteur téléphonique, un ressort antagoniste agit sur le commutateur pour mettre le téléphone en circuit. On peut alors causer, mais on ne peut pas transmettre l'écriture. Lorsque, par contre, le récepteur téléphonique est

accroché, son poids ramène le ressort, et c'est le télautographe qui



est relié au circuit; on peut écrire, mais on ne peut pas causer.

On peut écrire ou on peut recevoir l'écriture du correspondant; ces deux opérations ne peuvent pas être exécutées en même temps. Dès que l'un des correspondants termine sa phrase, il le signale par une croix, par exemple. Immédiatement, l'autre peut lui répondre, car une simple pression sur un bouton met le transmetteur de l'appareil en circuit à la place du récepteur.

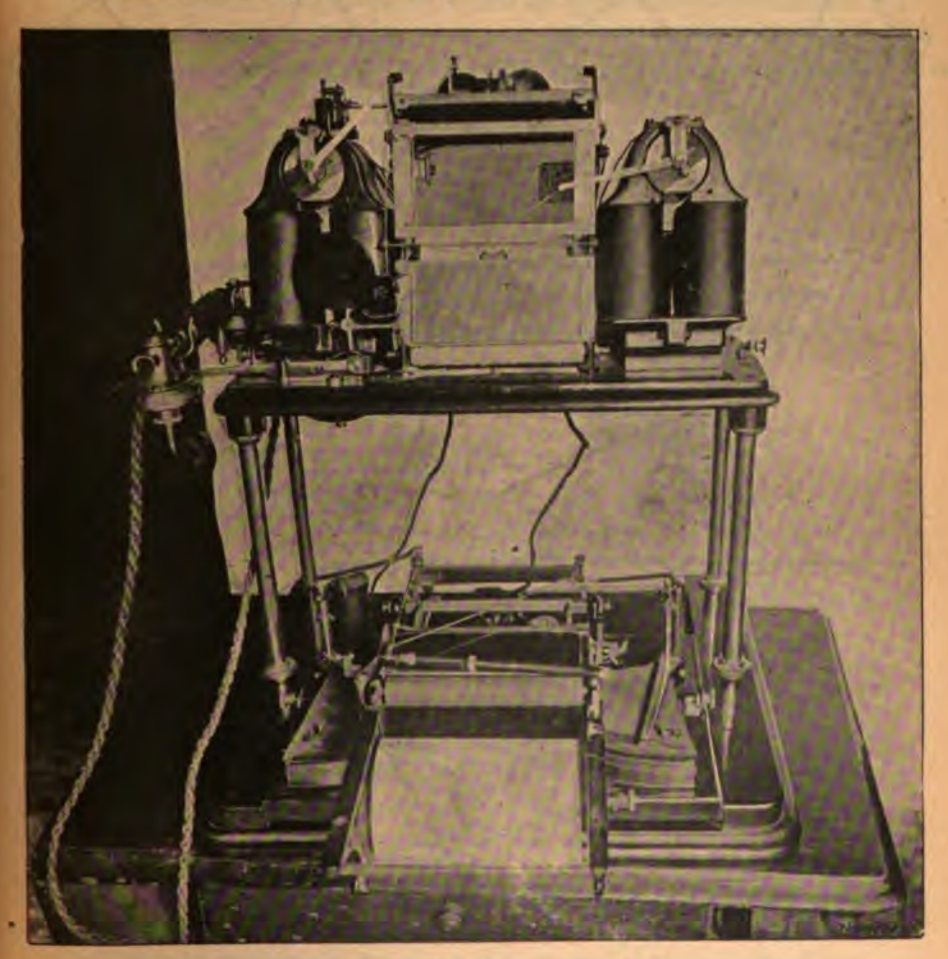


Fig 2.

Le même commutateur à bouton met en même temps l'un ou l'autre pôle de la batterie locale à la terre, suivant que c'est le transmetteur ou le récepteur qui se trouve en circuit.

L'appareil étant à l'état de repos, le bouton du commutateur est maintenu abaissé par le levier (O) placé à côté de lui (*fig.* 1), le pôle (—) de la batterie est à la terre et le récepteur en circuit sur le fil de ligne,

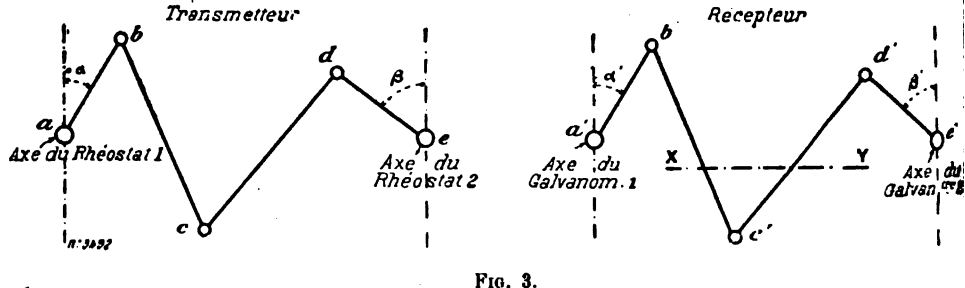


Fig. 3.

de sorte que l'appareil est prêt à enregistrer les messages sans qu'il y ait aucune manœuvre à faire. Lorsque l'opérateur pousse le levier (O) avec son crayon, le commutateur devient libre, se soulève,

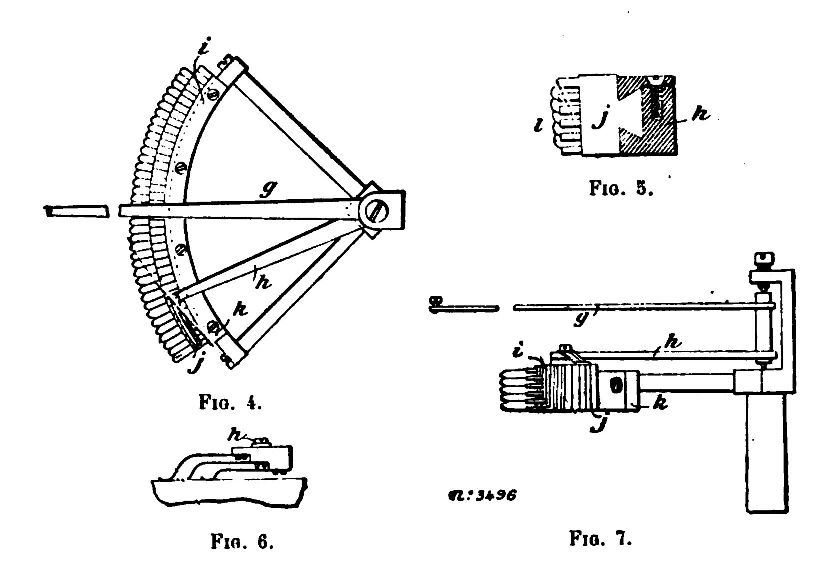


Fig. 4. Fig. 5. Fig. 6. Fig. 7.

met le pôle (+) de la batterie à la terre et le transmetteur en circuit à la place du récepteur ; l'appareil est alors en ordre de transmission. Les différentes fonctions électriques de l'appareil peuvent se subdiviser ainsi :

1° Le mouvement de la plume parallèlement au papier ;

2° Mouvement d'abaissement et de soulèvement de la plume;
3° Avancement du papier et prise d'encre;
4° Sonnerie d'appel et d'avertissement.

1° *Mouvement de la plume parallèlement au papier.* — Le mouvement de la plume du récepteur est obtenu par la variation d'intensité des courants continus passant dans les deux rhéostats intercalés sur chacun des deux fils. Les courants variables agissent sur deux bobines galvanométriques (*fig.* 2 et 3), également intercalées sur

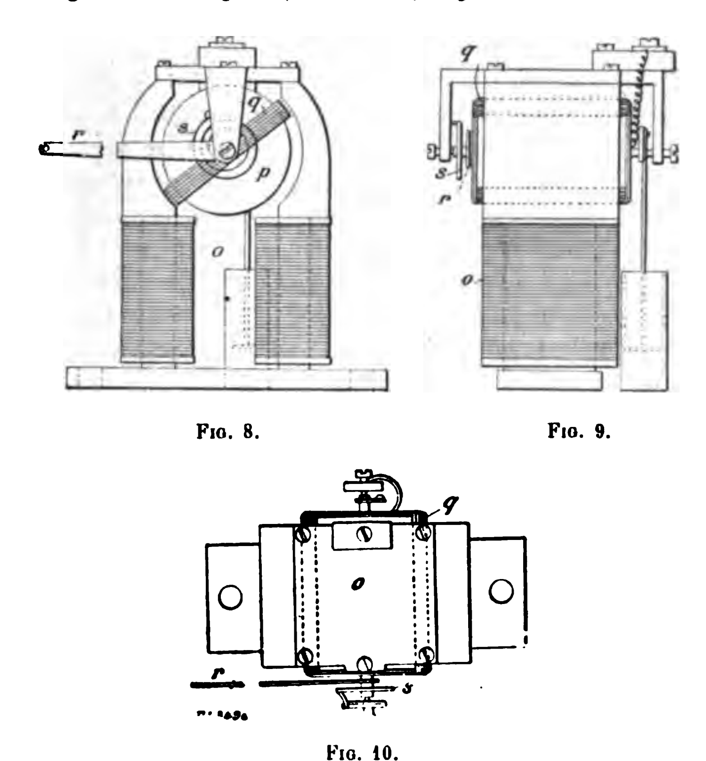


Fig. 8. Fig. 9.

Fig. 10.

chaque fil. Le crayon du transmetteur est adapté à l'extrémité des deux branches fixées au bras des deux rhéostats indépendants (*fig.* 4, 5, 6 et 7) ayant chacun une résistance de 7.000 ohms partagée en 496 parties.

La partie réceptrice de l'appareil est constituée par deux grands mouvements galvanométriques Deprez-d'Arsonval munis de forts ressorts (*fig.* 3, 8, 9, 10). Les axes sur lesquels sont fixées les bobines

mobiles sont en relation, à une de leurs extrémités, avec un système de leviers correspondant à celui du transmetteur et font mouvoir une plume sur une feuille de papier semblable à celle de l'expéditeur ; à l'autre extrémité, ils sont reliés à un système amortisseur à liquide.

Les rhéostats ont été divisés de façon que les variations d'angles des deux branches se reproduisent exactement aux branches correspondantes du récepteur. Pendant les communications les batteries des deux postes sont en série.

La différence des potentiels entre la ligne et la terre est constamment inférieure à 24 volts.

2° *Mouvement d'abaissement et de soulèvement de la plume.* — Lorsque deux appareils sont en ordre de communication, un courant local passe dans l'électro-aimant (M) qui soulève la plume (*fig.* 1). Quand le crayon du transmetteur presse sur la plaque sur laquelle le papier est tendu, il actionne un commutateur envoyant le courant du circuit primaire d'une bobine d'induction (F) dont le trembleur se met à vibrer. Le courant vibratoire secondaire est transmis à la ligne à travers le condensateur (I) et actionne le relai (K) à travers le condensateur (L).

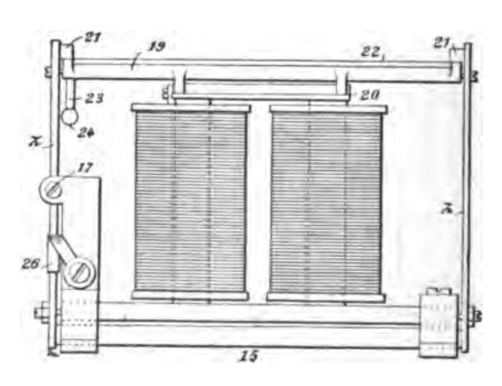


Fig. 11.

L'armature de (K) est attirée et le circuit de courant local (M) est rompu ; la plume, primitivement soulevée par une barre agissant sur les deux bras des supports, tombe en contact avec le papier.

La self-induction des bobines et relai du récepteur étant considérable, le courant vibratoire du relai ne les traverse pas d'une façon sensible, et le circuit de ce courant se ferme comme suit :

Circuit secondaire de la bobine (F), condensateur (I), ligne (5), condensateur (L), relai (K), ligne (3). On voit que les deux fils (3) et (5) sont, à un instant quelconque, parcourus par des courants vibratoires égaux et de sens contraire, par conséquent sans action inductive sur la ligne téléphonique voisine.

3° *Avancement du papier et prise d'encre.* — L'avancement du papier est obtenu en poussant avec le crayon du transmetteur jusqu'à fond de course et en relâchant ensuite le (V) situé à gauche du rec-

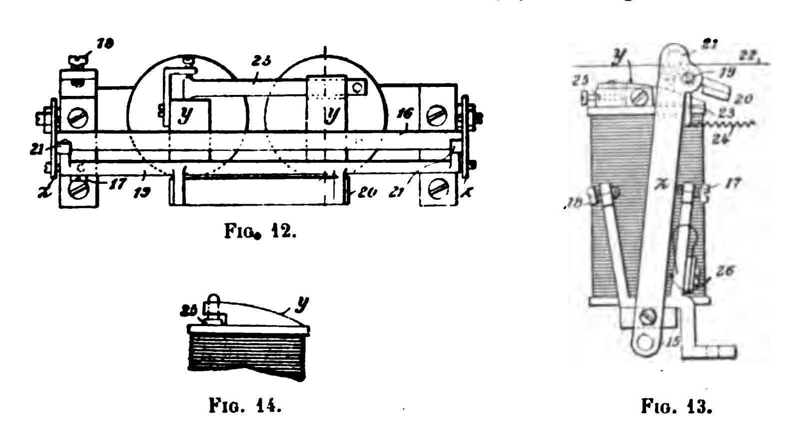


Fig. 12.

Fig. 14.

Fig. 13.

tangle où l'on écrit. Ce mouvement, transmis à angle droit à une bielle reliée à un volet mobile, permet de pincer le papier et de le

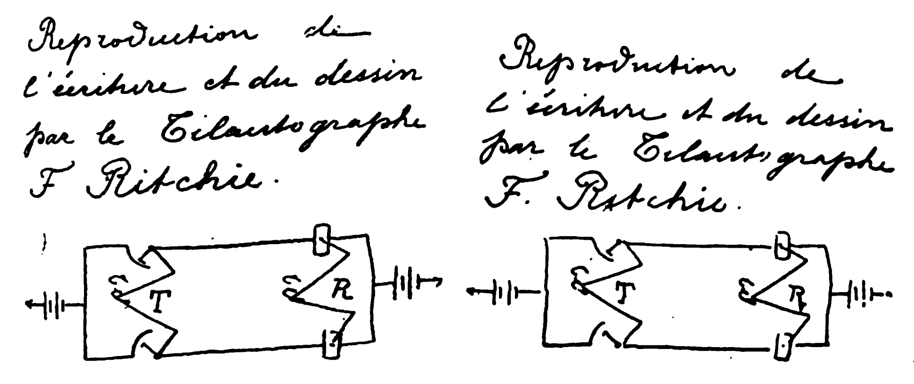


Fig. 15. — Reproduction de l'écriture et du dessin par le télautographe F. Ritchie.

faire avancer. Le papier est emmagasiné sur un rouleau placé sous la planchette du transmetteur. Le mouvement de retour est fait par

un ressort. Chaque fois que l'on pousse et relâche le (V), le commutateur (17) (*fig.* 1) coupe et remet le courant sur la ligne. Sur le récepteur, un relai (E) (*fig.* 1) dont l'enroulement est pris par moitié sur chacun des fils et fait dans le même sens, a son armature attirée quand le courant, même minimum, passe sur les fils de la ligne; un courant local passe alors dans les électros (P) (*fig.* 12, 13 et 14) qui, agissant sur le volet mobile et un châssis, pince le papier et provoque son déplacement d'une quantité égale à celle obtenue sur le transmetteur.

Lorsque le courant est interrompu sur les fils de ligne, l'armature de (E) cesse d'être attirée, et le courant local passant dans les électros (P) est rompu, le papier est relâché et le châssis retombe par son poids sur les butées inférieures.

Lorsque le crayon du transmetteur est placé dans le (V) du levier de manœuvre, la plume réceptrice qui reproduit exactement ce mouvement vient se placer au-dessus d'un encrier.

En appuyant sur le (V), on coupe le courant de la ligne; le châssis élévateur du papier et un bras qui y est fixé vient s'appuyer sur le bras du galvanomètre de gauche et enfonce ainsi la plume dans l'encrier.

Comme il est facile de le voir, sur le diagramme des connexions (*fig.* 1), le courant local ne parvient aux électros M et P que lorsque l'armature du relai (E) est attirée; d'autre part, le courant d'excitation des électros des galvanomètres ne se trouve établi que lorsque le châssis élévateur du papier du récepteur est levé. Les trois courants passant dans M et P, les électros des galvanomètres ne fonctionnent que pendant la communication. Il n'y a ainsi aucune dépense de courant inutile.

4° *Sonnerie d'appel et d'avertissement.* — La sonnerie est constamment reliée par une de ses extrémités au pôle négatif de la batterie locale.

Lorsque le récepteur du télautographe est en circuit, il suffit d'appuyer sur un bouton pour mettre un des fils à la terre et actionner la sonnerie.

En effet, un courant passe dans le relai (E′) (*fig.* 1) dont l'armature est attirée; le circuit de la sonnerie se trouve fermé en dérivation sur la batterie locale. Le relai (E′) porte deux enroulements en sens inverse pris sur les deux fils de ligne, de façon que les courants de même sens et égaux sont sans action sur lui.

Lorsque le transmetteur est en circuit, le circuit de la sonnerie est fermé sur une bobine de 200 ohms et un interrupteur. Tant que le bras de la personne est posé sur la planchette du transmetteur, le circuit est coupé par l'interrupteur. Aussitôt que le bras se lève, le circuit se ferme, la sonnerie fonctionne et elle ne s'arrête que lorsque l'opérateur a pressé avec le crayon le bouton du commutateur n° 2, dont il a été parlé plus haut, opération par laquelle le récepteur est mis en circuit et la batterie inversée ; on ne peut donc quitter l'appareil sans l'avoir mis à l'état de réception.

Fonctionnement du résonateur de Hertz et du résonateur à coupure. — Observation de la résonance électrique dans l'air raréfié ;

Par M. A. Turpain (1).

Pour qu'un résonateur électrique disposé dans un champ hertzien concentré par deux fils parallèles éprouve des alternatives de fonctionnement et d'extinction, il faut donner à l'appareil soit un mouvement de translation en maintenant le plan du résonateur perpendiculaire au plan des fils de concentration, soit un mouvement de rotation dans son plan, mouvement qui fait décrire au micromètre la surface même du résonateur.

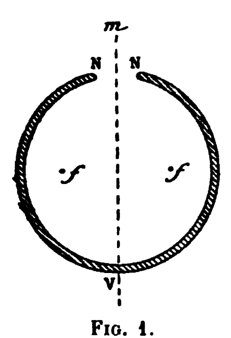


Fig. 1.

Les diverses théories de la résonance électrique s'accordent à reconnaître un nœud d'ondes stationnaires électriques à chacune des extrémités en regard du résonateur constituant les deux pôles de son micromètre, et elles indiquent comme siège d'un ventre de

(1) Séance du 13 avril 1901.

ces ondes la région du résonateur diamétralement opposée au micromètre (*fig.* 1).

Cette division du résonateur hertzien en deux concamérations successives est en accord avec la loi expérimentale suivante, qui rend compte de l'observation du mouvement de translation donnée au résonateur : *La longueur d'onde des oscillations électriques qui excitent un résonateur filiforme donné est égale* (abstraction faite de la perturbation micrométrique) *au double de la longueur du résonateur* (¹).

Comment cette distribution s'accorde-t-elle avec les phénomènes que présente un résonateur qui, placé dans une section ventrale du champ, est animé d'un mouvement de rotation de 360° dans son plan?

On constate pendant ce mouvement la production au micromètre de deux étincelles de longueur maximum. Ces étincelles se produisent lorsque le micromètre est à l'une ou l'autre des extrémités du diamètre du résonateur perpendiculaire au plan des fils de concentration. Entre les positions de ces maxima s'observent deux positions pour lesquelles une extinction à peu près complète se produit au micromètre. Ces positions sont aux extrémités du diamètre du résonateur contenu dans le plan des fils de concentration. Le diamètre correspondant aux azimuts de maximum d'étincelles est donc en croix avec le diamètre qui correspond aux azimuts d'extinction, ainsi que l'indique la figure 2.

Ces phénomènes semblent assez difficiles à interpréter en admettant la distribution électrique théorique précédemment indiquée. Que l'on admette, en effet, qu'à une étincelle de longueur maxima correspond un ventre, ou bien qu'on voie dans cette étincelle l'indication d'un nœud, l'observation précédente n'en semble pas moins montrer la succession de quatre concamérations le long du circuit du résonateur.

Bien que cette nouvelle distribution soit manifestement en désaccord avec la loi qui lie la longueur d'un résonateur à la longueur d'onde des oscillations qui l'excitent, elle paraît cependant confirmée par l'observation des phénomènes que présente un résonateur à

(¹) H. Poincaré, *les Oscillations électriques*, p. 237 (G. Carré, Paris, 1894); — A. Turpain, *Sur le résonateur de Hertz* (*Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 31 janvier 1898); — *Recherches expérimentales sur les oscillations électriques* p. 93 (A. Hermann, Paris, 1899).

quatre micromètres [1] situés aux extrémités de diamètres rectangulaires (*fig.* 3). On observe, en effet, que, pour un réglage convenable des micromètres, une rotation de 90° imprimée à l'appareil est suivie de l'extinction des deux micromètres *m*, *m'* primitivement étincelants et de la mise en activite des micromètres *n*, *n'* qui étaient éteints avant la rotation.

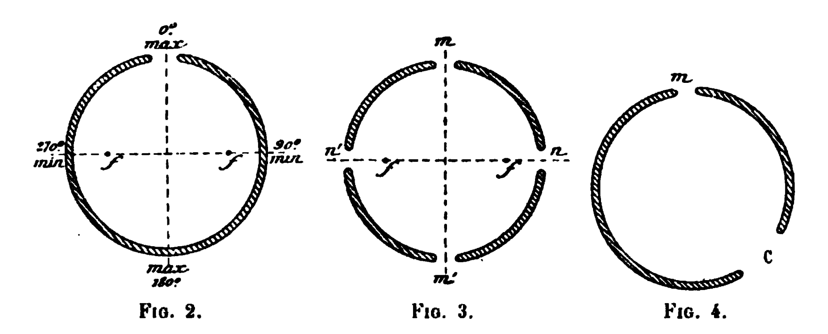


FIG. 2. FIG. 3. FIG. 4.

Il y a quelques années, j'ai montré [2] qu'un résonateur circulaire de Hertz, qui présente une coupure (*fig.* 4) indépendamment de celle offerte par l'interruption micrométrique fonctionne aussi aisément qu'un résonateur complet.

Les lois qui régissent le fonctionnement du résonateur à coupure sont des plus simples et peuvent toutes se résumer dans l'énoncé suivant : *Dans un résonateur à coupure, la coupure joue le rôle que jouait le micromètre dans le résonateur complet.*

En particulier, en ce qui concerne les positions d'extinction qu'on observe par rotation du résonateur dans son plan, on constate que, *pour obtenir l'extinction, il faut amener le milieu de la coupure dans l'un des deux azimuts que devrait occuper le micromètre pour donner le même résultat, si le résonateur était complet.*

Ce fait expérimental, rapproché de la loi de distribution qu'énoncent les diverses théories de la résonnance électrique assigne, comme position des nœuds des ondes stationnaires d'un résonateur à coupure, les extrémités de la coupure et comme position du ventre des mêmes ondes, le point du résonateur également éloigné des deux extrémités de la coupure.

---

(1) A. TURPAIN, *Recherches expérimentales*, etc., p. 84.
(2) A. TURPAIN, *Sur les expériences de Hertz* (Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux, 4 avril 1895).

Cette distribution électrique le long du résonateur à coupure semble en parfait accord avec l'observation suivante :

Par un artifice de construction facile à imaginer, on rend la coupure d'un résonateur à coupure, mobile par rapport au micromètre, de telle sorte que l'arc qui sépare le milieu de la coupure du micromètre puisse croître depuis une valeur voisine de 50° jusqu'à 180°. — Disposant alors le résonateur de manière à ce que la coupure soit constamment située dans un azimut de maximum d'effet, on fait varier l'arc d'écart entre le micromètre et le milieu de la coupure. — Pour chaque arc, on relève la longueur maximum d'étincelle qu'on obtient au micromètre. — On constate que l'intensité de l'étincelle au micromètre croît avec l'arc compris entre la coupure et le micromètre.

Si l'on admet que l'étincelle du micromètre d'un résonateur coupé mesure l'intensité du mouvement vibratoire hypothétique dont ce résonateur est le siège au point où se trouve le micromètre, cette observation confirme la distribution électrique précédemment indiquée. Le résonateur à coupure se présente alors comme ayant un nœud de vibration aux deux extrémités limitant la coupure et un ventre diamétralement opposé au milieu de la coupure.

Toutefois cette observation semble en contradiction avec le fait suivant : Si, au cours de cette même expérience, on vient à rapprocher l'une de l'autre les deux extrémités de la coupure jusqu'à ce qu'une étincelle jaillisse entre elles, on constate que cette étincelle présente une longueur sensiblement égale à la plus grande de toutes celles observées jusque-là au micromètre du résonateur coupé, c'est-à-dire égale à celle qu'on observe au micromètre lorsque l'arc séparant le milieu de la coupure du micromètre atteint 180°.

D'après l'hypothèse admise que l'étincelle du micromètre mesure l'intensité du mouvement vibratoire, on est amené à supposer l'existence d'un ventre de vibrations au point même où l'on admettait précédemment un nœud.

D'autre part, le rapprochement de ces deux expériences ainsi que la comparaison des lois régissant les positions d'extinction d'un résonateur complet à celles régissant les positions d'extinction d'un résonateur à coupure conduisent à se demander quelle distinction on doit faire entre le micromètre d'un résonateur complet en activité et le micromètre d'un résonateur à coupure en activité.

En définitive, si l'observation du résonateur complet, comme celle du résonateur à coupure, conduisent toutes deux à des lois expéri-

mentales simples, ces lois ne paraissent pas en accord avec la distribution électrique que les diverses théories de la résonance électrique assignent à ces deux sortes de résonateurs. Bien plus, alors que certaines expériences semblent confirmer la distribution électrique qu'indique la théorie, d'autres expériences non moins nettes que les premières l'infirment.

C'est dans le but de rechercher les causes de ce désaccord et de coordonner, si possible, ces différents faits, à première vue contradictoires, que j'ai entrepris les expériences que je vais décrire.

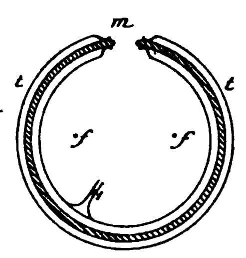


Fig. 5.

Je me suis proposé d'appliquer à cette recherche une méthode qui permette de se rendre compte, au même instant, de l'état électrique des divers points du résonateur tout le long du conducteur qui le constitue. A cet effet, j'ai renfermé tout le résonateur, sauf le micromètre, dans un tube de verre *t* (*fig.* 5), de forme circulaire, dans lequel l'air est suffisamment raréfié pour permettre au conducteur du résonateur de produire la luminescence de cet air raréfié. Si la raréfaction est convenable le résonateur décèle les états électriques qui se succèdent le long de l'arc conducteur qu'il forme par la luminescence que ce conducteur produit aux divers points du tube. La luminescence ainsi produite peint aux yeux, par son éclat plus ou moins vif; plus ou moins estompé, l'état électrique des divers points du résonateur en activité qui la produit.

Il est à craindre, dans l'emploi de ce dispositif, que la luminescence de la gaine gazeuse qui enserre le résonateur ne provienne pas de la seule action du conducteur qui forme le résonateur. Il peut arriver que les fils qui concentrent le champ produisent eux-mêmes directement la luminescence du tube à gaz raréfié. Les phénomènes qui doivent déceler la distribution électrique le long du résonateur se trouvent alors troublés. Le degré de raréfaction qui convient le

mieux pour que le résonateur produise seul la luminescence est celui qui correspond à une pression de $\frac{1}{200}$ de millimètre.

Les expériences suivantes montrent que la luminescence est alors produite par le résonateur seulement.

1° Si l'on déplace un pont le long des fils, la luminescence disparaît ou réapparaît suivant que le pont atteint une position nodale ou ventrale des oscillations qui excitent le résonateur. Pour admettre l'influence directe des fils sur la luminescence produite, il faut supposer que la gaine gazeuse admet exactement la même longueur d'onde que le résonateur ;

2° La luminescence cesse complètement lorsqu'on ferme le micromètre du résonateur ;

3° La luminescence produite accompagne le résonateur lorsqu'on le déplace dans son plan ;

4° Enfin le tube de verre circulaire privé du conducteur formant résonateur et amené au même degré de raréfaction ne devient pas lumineux, bien qu'il soit disposé dans le champ dans les mêmes conditions que lorsqu'il contenait le conducteur métallique.

Les observations faites à l'aide de cette méthode, dont l'emploi est ainsi légitimé, ont porté sur toute une série de résonateurs de formes et de dispositions différentes. Celles relatives au *résonateur complet*, au *résonateur à coupure* et au *résonateur à deux micromètres*, ont donné les résultats suivants :

Résonateur complet. — Le micromètre est placé dans un des deux azimuts de maximum d'étincelle (Voir *fig.* 5). La luminescence ne se produit pas tant que le micromètre est fermé. Dès qu'il est ouvert, elle se produit très faible aux environs immédiats des pôles du micromètre; elle est nulle dans toute autre région. A mesure qu'on augmente la distance explosive du micromètre, la luminescence qui se produit intéresse, de part et d'autre des pôles du micromètre, des arcs égaux de plus en plus grands. Quand les pôles du micromètre sont trop éloignés pour qu'il se produise entre eux des étincelles, la luminescence est maxima; elle intéresse alors, de part et d'autre, des arcs de 120° à 150°. La seule région qui reste obscure est la région diamétralement opposée au micromètre. La luminescence décroît d'ailleurs et s'estompe depuis la région voisine du micromètre, où elle est la plus intense, jusqu'à la région obscure.

Si l'on déplace le résonateur dans son plan, le micromètre, passant

d'un azimut de maximum à un azimut d'extinction, la luminescence accompagne le mouvement du résonateur. Les deux arcs lumineux diminuent de grandeur, lorsqu'on se rapproche de l'azimut d'extinction. La luminescence cesse complètement dès qu'on atteint cet azimut.

Résonateur à coupure. — Cette méthode d'étude a été appliquée au résonateur à coupure en disposant la coupure de trois manières différentes; la coupure est située tout entière à l'intérieur du tube à air raréfié; les extrémités de la coupure sont seules placées dans l'air raréfié, l'intervalle entre ces extrémités est extérieur aux tubes dans les-

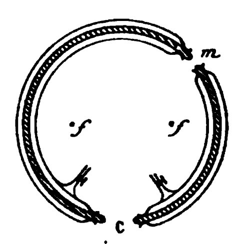


Fig. 6.

quels on produit le vide; les extrémités des arcs qui comprennent la coupure sont, ainsi que l'intervalle qui les sépare, extérieurs aux tubes enfermant le résonateur (*fig.* 6). Les phénomènes observés dans les trois cas sont les mêmes dans leurs lignes générales, à cela près que, lorsque la coupure est située tout entière dans l'air raréfié, on observe une effluve entre ses deux extrémités.

La coupure étant disposée dans l'azimut 180° et le micromètre étant fermé, on observe une luminescence assez intense le long de chaque conducteur sur un arc de 40° à 50°. Tout le reste du résonateur est obscur. — Dès qu'on ouvre le micromètre, une étincelle s'y produit, les arcs lumineux deviennent moins longs et moins intenses. Dès que le micromètre, graduellement ouvert, cesse de donner des étincelles, on observe plus de luminescence. — Si l'on déplace le résonateur dans son plan, la luminescence accompagne le résonateur et l'intensité du phénomène décroît lorsque la coupure s'approche d'un azimut d'extinction (90° ou 270°), pour lequel aucune luminescence ne persiste.

On voit que l'aspect présenté par un résonateur complet dont le micromètre est aussi ouvert que possible concorde avec l'aspect présenté par un résonateur à coupure dont le micromètre est fermé.

Le premier présente une luminescence maximum au voisinage du micromètre, le second au voisinage de la coupure. Les deux appareils sont en effet les mêmes : ce sont *deux résonateurs à coupure sans micromètres*. La présence du tube à air raréfié permet, en effet, de se rendre compte du fonctionnement des appareils sans avoir à consulter les micromètres. — Ces expériences expliquent que les lois du résonateur à coupure soient celles qui régissent le résonateur complet, à condition de faire jouer à la coupure le rôle dévolu au micromètre du résonateur complet.

RÉSONATEUR A DEUX MICROMÈTRES. — Ce résonateur est constitué par deux tiges en forme de demi-circonférences, placées à l'intérieur de tubes de verre demi-circulaires dont l'air a été convenablement raréfié. Chaque tige porte à l'une de ses extrémités une vis micrométrique qui vient buter contre l'extrémité libre de l'autre tige ; le résonateur se trouve ainsi muni de deux micromètres diamétralement opposés. La course des vis micrométriques est de longueur telle qu'elle permet de produire une coupure dans la région qu'occupe le micromètre.

On place le plan du résonateur perpendiculaire à la direction des fils de concentration et de manière que le diamètre qui passe par les micromètres soit perpendiculaire au plan des fils *f* de concentration. Soient *m* et μ les deux micromètres (*fig.* 7). On constate les phénomènes suivants :

m et μ sont fermés : On n'observe aucune luminescence.

m est peu ouvert, *μ est fermé :* L'étincelle qui se produit au micromètre *m* est accompagnée d'une faible luminescence de la partie des arcs avoisinant *m*.

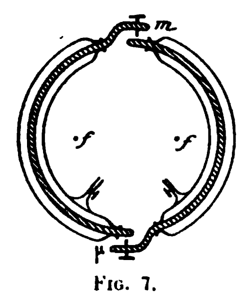


FIG. 7.

m est très ouvert, *μ est fermé :* L'étincelle n'éclate plus en *m*. La luminescence devient très vive et intéresse une partie notable (120° environ) des arcs se terminant en *m*.

m est très ouvert, on ouvre graduellement μ : La luminescence diminue lorsqu'on fait croître l'ouverture du micromètre μ.

m et μ *sont peu ouverts :* Si les deux micromètres sont ouverts de façon à ce qu'il éclate des étincelles à l'un et à l'autre, pour un réglage convenable, la luminescence se manifeste tantôt le long des portions d'arcs avoisinant *m*, tantôt le long des portions d'arcs avoisinant μ.

Interprétation des expériences. — On peut interpréter les expériences ci-dessus, dont quelques-unes ne sont que la répétition des expériences précédentes, en admettant qu'un résonateur en activité est le siège d'un courant électrique oscillatoire, cheminant alternativement d'une des extrémités vers l'autre. Soient A et B les extrémités de la coupure, le courant chemine de A vers B pendant une demi-période et de B vers A pendant la demi-période suivante.

Les valeurs de la densité électrique en A et B au cours d'une demi-période T sont :

Temps	Densité en A	Densité en B
0	$+\sigma$	$-\sigma$
$\frac{T}{4}$	0	
$\frac{T}{2}$	$-\sigma$	$+\sigma$
$\frac{3T}{4}$	0	
T	$+\sigma$	$-\sigma$

Au point M (*fig.* 8), également distant de A et de B, la densité électrique reste constamment nulle.

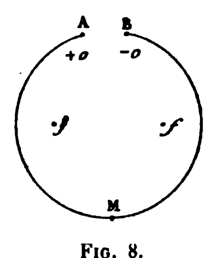


Fig. 8.

Si la coupure est assez grande pour qu'aucune étincelle ne puisse la traverser, la densité électrique acquiert en A et en B, à la fin de

chaque demi-période, la plus grande valeur possible (valeur absolue). La luminescence est la plus vive.

Si on diminue la grandeur de la coupure de telle sorte qu'une étincelle puisse éclater entre les deux extrémités, la valeur maxima de la densité électrique en A et en B devient $\sigma' < \sigma$ et la luminescence est moins vive.

Si on ferme complètement la coupure, aucun courant ne circule plus dans le circuit fermé que présente le résonateur. La densité électrique est nulle en tout point de ce circuit à chaque instant. Aucune luminescence ne se manifeste.

Une coupure AB existant dans le résonateur, on ouvre progressivement un micromètre placé en M. — L'étincelle qui se manifeste en M et qu'une luminescence voisine n'accompagne pas doit être attribuée au passage du courant cheminant alternativement de A vers B et de B vers A. On conçoit que la présence du micromètre abaisse la valeur maxima qui limite la variation de densité en A et en B. La luminescence au voisinage de A et de B doit donc diminuer par l'ouverture du micromètre situé en M. — Tant qu'une étincelle peut jaillir en M, le courant peut circuler entre A et B, la luminescence s'observe au voisinage de A et de B et présente une plus ou moins grande intensité. Dès que l'ouverture du micromètre en M est telle qu'aucune étincelle ne s'y produit plus, aucun courant ne peut plus s'établir. La présence de cette *seconde coupure* doit donc faire cesser tout phénomène de luminescence.

Si la coupure AB et l'ouverture du micromètre M sont d'égale grandeur et susceptibles l'une et l'autre de permettre la production d'une étincelle, il peut arriver que l'étincelle éprouve une plus grande difficulté à se produire à l'une des interruptions qu'à l'autre ; cela peut avoir lieu tantôt à l'une, tantôt à l'autre des interruptions. *La plus résistante des interruptions jouera le rôle de coupure.* Les portions voisines des conducteurs qui y aboutissent seront entourées de luminescence, alors que l'autre interruption (*la moins résistante*) sera seulement le siège d'une étincelle produite par le courant circulant dans le résonateur. — C'est dans cette interprétation de l'expérience qu'il faut voir la distinction à faire entre le micromètre d'un résonateur complet en activité et le micromètre d'un résonateur à coupure en activité.

En résumé, *le résonateur filiforme doit être considéré comme présentant dans sa longueur deux concamérations, avec un ventre de*

vibration au milieu de sa longueur et deux nœuds de signes contraires à ses deux extrémités. — On admet dans cette interprétation que la luminescence produite dans le tube à air raréfié, qui contient le résonateur, est la plus vive aux nœuds, c'est-à-dire aux points où la variation de la densité électrique est la plus grande, et qu'elle est nulle aux ventres.

Généralisation de la méthode d'observation précédente. — La méthode qui permet de déceler l'état électrique tout le long d'un conducteur soumis à l'influence d'un champ d'oscillations électriques, méthode qui consiste à entourer ce conducteur d'une gaine d'air convenablement raréfié, peut être généralisée. — On peut se proposer d'étudier par son emploi non plus seulement l'état électrique des diverses régions d'un résonateur filiforme en activité, mais l'état électrique des fils de concentration du champ hertzien et même celui de la région avoisinant les fils de concentration et le résonateur.

La difficulté qu'offre cette recherche expérimentale réside dans l'extrême fragilité que présentent des vases de volumes notables (de 3 à 4 litres), lorsque l'air contenu à leur intérieur doit être raréfié. Ces vases, devant permettre la facile disposition à leur intérieur du dispositif de concentration du champ hertzien et du dispositif constituant le résonateur, doivent être forcément constitués de deux parties s'adaptant l'une à l'autre par un masticage convenable. — Après un certain nombre d'essais infructueux, j'ai adopté le dispositif suivant, qui m'a paru réaliser le plus de sécurité et le plus de commodité.

Une cloche à douille V repose sur un plan de verre ; les bords de la cloche et la surface de la plaque épaisse qui la supporte sont rodés. La cloche est percée de 4 trous situés sur la circonférence d'un cercle parallèle au plan de verre, aux extrémités de deux diamètres rectangulaires. La figure 9 représente une coupe verticale du dispositif; la figure 10, une coupe horizontale. On enfile dans les trous *t*, *t* (*fig.* 9) pratiqués dans la paroi de la cloche, deux tubes de verres parallèles *t*, *t* (*fig.* 10), qui servent de guide aux fils de concentration *f*, *f*, du champ hertzien. Les tubes de verre *t*, *t* sont mastiqués dans la paroi de la cloche.

La douille *d* dont est munie la cloche est fermée par un bouchon qui laisse passer le tube *a*, à l'aide duquel on fait le vide dans la cloche. Ce bouchon supporte un crochet de verre *v*, qui peut soutenir le résonateur R.

Lorsque tout est convenablement disposé à l'intérieur de la cloche, on chauffe le plan de verre P sur un bain de sable, de manière à l'amener à une température voisine du ramollissement du mastic Golaz. On coule sur la plaque une bande circulaire de mastic Golaz liquide, et on y applique par pression le bord de la cloche, préalablement chauffée. Avant que le refroidissement du mastic soit complet et alors qu'il est encore à l'état pâteux, on commence à faire le vide dans la cloche pendant qu'on relève le mastic sur le bord extérieur de la cloche. De cette manière le mastic pénètre dans les interstices qui peuvent subsister entre la cloche et le plan de verre.

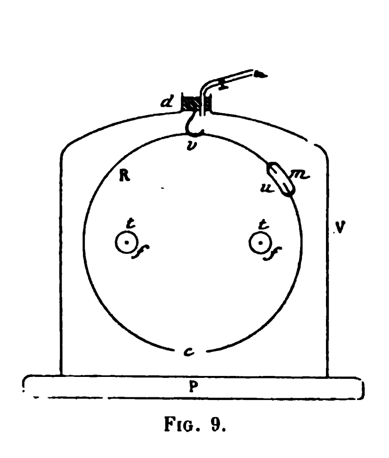


Fig. 9.

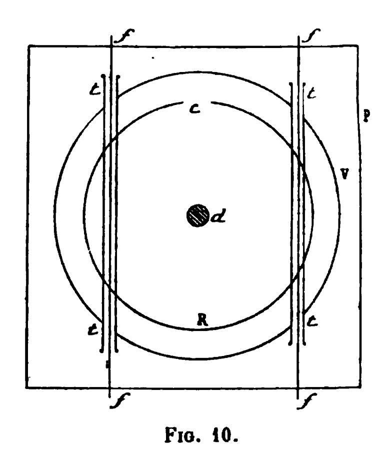


Fig. 10.

Les tubes de verre *t*, *t* remplissent deux offices différents; ils permettent tout d'abord de déplacer facilement la cloche le long des fils de concentration et de l'amener en une région quelconque du champ des fils. En second lieu ils empêchent ces fils d'être en contact immédiat avec l'air raréfié contenu dans la cloche. La protection des fils de concentration par l'air contenu à l'intérieur des tubes *t*, *t*, et par ces tubes eux-mêmes, est nécessaire. On constate en effet, en mastiquant directement les fils de concentration dans les trous *t*, que la luminescence qu'ils produisent dans l'espace limité à l'intérieur de la cloche est assez vive pour masquer tout autre phénomène. On observe alors dans tout le volume V une luminescence uniforme.

Le résonateur R est constitué par un fil d'aluminium recourbé en forme de circonférence de 15 centimètres environ de diamètre et dont les extrémités présentent, en *c*, un écartement de quelques

millimètres. La figure 9 représente le résonateur R suspendu au crochet *v*, de telle sorte que son plan est perpendiculaire à la direction des fils de concentration. La figure 10 représente le résonateur R supporté par les tubes *t*, *t*, de telle sorte que son plan est parallèle au plan des fils de concentration. — On peut aisément faire passer le résonateur de la première position à la seconde sans être obligé d'ouvrir la cloche. Il suffit, par des secousses convenablement imprimées à tout l'appareil, de décrocher le résonateur R et d'amener l'intervalle *c* à se présenter successivement en face de chacun des tubes *t*. On peut ainsi assez aisément passer d'une des positions du résonateur à l'autre et même amener le résonateur à reposer tout entier sur le plan de verre. On le soustrait ainsi à l'action des fils de concentration. On obtient ainsi avec une seule cloche les effets qui nécessiteraient la préparation préalable de deux ou de trois cloches. Il est alors facile d'observer les différences que présentent les aspects de la luminescence à l'intérieur de la même cloche pour ces trois positions différentes du résonateur.

Les phénomènes observés avec des résonateurs ainsi disposés confirment les observations précédemment faites avec les résonateurs enfermés dans des tubes à air raréfié.

Les mesures de longueur d'ondes, faites par déplacement d'un pont, ont montré que la demi-longueur d'onde des oscillations qui excitent un résonateur donné, est très sensiblement égale à la longueur du résonateur. — Un résonateur de 42 centimètres de longueur a été excité par des oscillations, dont la demi-longueur d'onde a été trouvée égale à $41^{cm},5$ (moyenne de trois mesures ayant donné 41 centimètres, $41^{cm},5$, 42 centimètres).

La perturbation micrométrique observée dans les mesures faites dans l'air (¹) doit donc être rapportée à la présence de l'air.

Ce résultat est confirmé par la comparaison des mesures faites à l'aide d'un résonateur à coupure et à micromètre disposé dans une cloche à air raréfié et dont le micromètre peut être, dans deux expériences successives, maintenu dans l'air, puis dans l'air convenablement raréfié. A cet effet, les deux extrémités qui forment les pôles du micromètre *m* (*fig.* 9) sont mastiquées dans un petit morceau de tube de verre *u*. Le masticage est fait soit de manière à

(¹) *Recherches expérimentales sur les oscillations électriques*, p. 95 (A. Hermann, Paris, 1899).

emprisonner l'air dans le tube u (1re expérience), soit de façon à en permettre l'extraction en même temps qu'on fait le vide dans la cloche (2e expérience). Le déplacement du pont indique une longueur d'onde notablement plus grande dans la première expérience que dans la seconde.

L'application de cette méthode consistant à disposer dans l'air raréfié non plus le résonateur seul, mais encore la partie du champ hertzien qui avoisine le résonateur, y compris les fils de concentration, est susceptible de fournir, en offrant une sorte de spectre du champ hertzien, d'autres renseignements intéressants, qu'une étude ultérieure permettra de préciser.

Convection électrique et courants ouverts ;

Par M. V. Crémieu [1].

En général, on définit le courant électrique par son action sur le galvanomètre, et on admet que la force magnétique est proportionnelle à la *quantité d'électricité* qui a traversé le conducteur pendant l'unité de temps.

Si u, v, w sont les composantes du courant, α, β, γ celles de la force magnétique, on écrit :

$$(1)\qquad \left\{ \begin{aligned} 4\pi u &= \frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz}, \\ 4\pi v &= \frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx}, \\ 4\pi w &= \frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy}. \end{aligned} \right.$$

on en déduit la relation suivante :

$$(2)\qquad \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} = 0,$$

qui exprime que tous les courants sont fermés. Si on admet entre l'électricité et l'éther lumineux les relations des théories actuelles, cette équation exprime à la fois l'incompressibilité de l'éther et la *conservation de l'électricité.*

D'autre part, dans les idées dont les équations (1) sont l'expression directe, toutes les fois qu'une même quantité d'électricité parcourra

[1] Séance du 3 mai 1901.

une même trajectoire dans un même temps, elle y produira le même champ magnétique, que cette trajectoire ait été suivie par elle, par conduction ou par tout autre moyen.

On a vérifié depuis longtemps que le transport d'électricité par l'étincelle disruptive obéit bien à cette loi.

D'ailleurs, dans les anciennes théories de l'électrodynamique et de l'induction, on admettait que les effets magnétiques du courant, dus uniquement au mouvement relatif de l'électricité, se manifesteraient quelle que soit la manière dont on réaliserait ce mouvement relatif, en particulier s'il se produisait à l'aide du support pondérable de l'électricité statique.

Dans les idées de Faraday, le champ magnétique est dû au *balayage* de l'éther par les lignes de force électriques ; ce phénomène devant rester le même, quelle que soit la façon dont s'opère le déplacement d'électricité qui lui sert d'origine. On retrouve donc chez Faraday (¹) la même conception théorique, exprimée avec une netteté encore plus grande.

C'est à ce transport d'électricité par son support pondérable que Maxwell a donné le nom de *convection électrique*.

Je ferai remarquer, en passant, que cette hypothèse de l'effet magnétique de la convection électrique peut paraître en désaccord avec le principe de la *dégradation de l'énergie*.

Dans tous les phénomènes naturels que nous connaissons, nous constatons toujours qu'une transformation d'énergie s'accompagne d'une perte d'énergie irréversible.

Lorsque de l'énergie électrostatique se transforme en énergie électromagnétique, cette loi doit s'appliquer encore. La perte d'énergie se retrouve bien, en effet, dans la chaleur de Joule, lorsque cette transformation s'opère par conduction et dans les phénomènes mécaniques, calorifiques et lumineux qui accompagnent la décharge disruptive.

Pour la convection électrique, il n'en est pas de même. On pourrait très bien réaliser des courants de convection réversibles.

Pour concevoir, dans la convection, une perte d'énergie irréversible, il faudrait faire intervenir des hypothèses sur les liaisons de l'électricité statique et de la matière, et sur leur variation avec la vitesse de cette dernière.

(¹) *Exp. Research.*, vol. 1, art. 1642 à 1644.

J'ai fait une expérience, que je décrirai plus loin, destinée à voir si la liaison de la matière et de l'électricité variait avec le mouvement. Le résultat en a été négatif.

Je me contente, pour le moment, de signaler cette contradiction qui n'est peut-être qu'apparente.

On peut, du reste, faire la remarque suivante : Il est vrai, que chaque fois qu'il y a conduction, il y a chaleur de Joule. Mais, si on considère la dépense totale d'énergie due au passage d'une certaine quantité d'électricité à travers la section d'un conducteur, il semble que, pour un même travail électromagnétique, on puisse réduire presque indéfiniment la perte de chaleur irréversible de Joule, en prenant des conducteurs de moins en moins résistants.

Il ne semble donc pas que le phénomène de la transformation d'énergie électrostatique en énergie électromagnétique soit susceptible d'un certain rendement maximum, et il est peut-être imprudent, par conséquent, d'appliquer ici le principe de la dégradation de l'énergie.

Plusieurs expérimentateurs ont essayé de vérifier directement l'existence de l'effet magnétique de la convection électrique.

M. Rowland, puis M. Himstedt, et ensuite MM. Rowland et Hutchinson obtinrent un résultat positif, tandis que M. Lecher obtenait un résultat négatif.

J'ai exposé ailleurs [1] comment j'avais été amené à reprendre ces expériences, dont j'ai donné une critique détaillée.

Elle peut se résumer en quelques lignes.

Toutes ces expériences consistaient à faire tourner rapidement un disque non conducteur, doré sur une partie de sa surface, et à observer les mouvements d'une aiguille aimantée placée au bord du disque, parallèlement à son plan, lorsqu'on venait à le charger ou à inverser le signe de sa charge.

L'intensité i du courant de convection est liée à la vitesse v, à la largeur l de la partie dorée du disque et à la densité superficielle σ de sa charge par la relation :

$$i = \sigma v l.$$

On voit immédiatement que, pour obtenir des valeurs appréciables de i, il faudra donner à σ des valeurs considérables, par suite de l'im-

---

(1) Crémieu, Thèse de Paris, Gauthier-Villars, 1901.

possibilité matérielle où on se trouve de donner à v une valeur qui soit une fraction appréciable du rapport des unités électrostatiques et électromagnétiques.

Les potentiels de charge employés étaient en effet considérables : 8.000 à 15.000 volts, correspondant à des valeurs de σ de 1 à 3 C. G. S. électrostatiques.

Quant aux vitesses linéaires, elles étaient de 32 mètres à 64 mètres par seconde.

Les intensités correspondantes des courants de convection étaient comprises entre 5×10^{-6} et 5×10^{-5} ampères.

Pour mettre en évidence des courants aussi faibles circulant dans une seule spire de fil représentée par le disque tournant, il fallait des systèmes magnétiques astatiques dont la sensibilité atteignît les plus extrêmes limites.

Or, par le principe même de l'expérience, on se trouvait amené à placer ces systèmes, très instables par nature, au voisinage immédiat de disques chargés à des potentiels très élevés et tournant très vite, par conséquent dans une région qui était le siège à la fois de perturbations électrostatiques considérables, de courants d'air très violents et, enfin, d'effets d'induction magnétique dus à la rotation rapide de pièces métalliques dans le champ terrestre ou accidentel du laboratoire.

Les conditions étaient donc *a priori* très mauvaises.

De plus, Rowland, dont les deux séries d'expériences présentent le plus de garantie, s'est toujours contenté de déviations permanentes très faibles (6 à 15 millimètres à 2 mètres de distance), du même ordre que les déviations ordinaires d'un système astatique sensible placé dans une région magnétiquement assez tranquille.

Ces déviations s'accordaient, il est vrai, avec celles calculées ; mais on voit de suite combien une coïncidence de cette nature est sujette à erreur, surtout lorsqu'on a en facteur de tous les calculs le nombre 3×10^{10}.

Quant à M. Himstedt, il n'observait que des impulsions et son appareil ne lui permettait de calculer à l'avance ni la grandeur de ces impulsions ni celle des déviations permanentes attendues. Il ne connaissait même pas la sensibilité de son système magnétique.

Lorsque j'ai abordé la question expérimentale, j'ai cherché une méthode différente qui me permît d'éloigner l'appareil de mesure des appareils d'expérience. En même temps, j'ai augmenté beaucoup

la valeur de tous les facteurs dont dépend l'intensité de la convection, de façon à avoir, pour les déviations à observer, des valeurs calculées suffisamment grandes vis-à-vis de celles dues à la sensibilité même des appareils de mesure.

Le principe de la méthode consistait à faire agir, sur un circuit conducteur relié à un galvanomètre, les effets d'induction des courants de convection.

Un disque D, de $0^m,37$ de diamètre (*fig.* 1), solidaire d'un moyeu M monté sur billes d'acier, peut tourner autour d'un axe fixe A. Le disque est isolé du moyeu à l'aide de pièces d'ébonite E. On le charge par l'intermédiaire du fil F, de la bague métallique isolée H et du balai G. L'axe A est fixé par deux lames d'acier L au centre de deux couronnes de fonte CC_1, CC_1, laissant, entre elles, un intervalle de 8 millimètres, au milieu duquel tourne le disque. Les couronnes, reliées au sol, forment donc un condensateur dont le disque est l'armature interne. En même temps, ces couronnes de fonte constituent un circuit magnétique autour d'une bobine B concentrique au disque. Cette bobine porte 13.000 tours de fil de cuivre de $0^{mm},15$ de diamètre : ses extrémités sont reliées aux bornes d'un galvanomètre très sensible. Le mouvement est communiqué au disque par l'intermédiaire d'une courroie agissant sur la poulie P.

On voit que, si l'on fait tourner le disque très rapidement, puis qu'on le charge, le courant de convection ainsi créé induira un courant dans la bobine B. Pour rendre cet effet plus facile à observer, un commutateur produit plusieurs fois par seconde la charge et la décharge du disque et, en même temps, permet de n'envoyer dans le galvanomètre que les effets dus soit à la charge, soit à la décharge. On doit ainsi observer, au lieu d'une impulsion, une déviation permanente. Si l'on vient à rendre la charge égale et de signe contraire, on observera une déviation en sens inverse et double de la première.

La distance du disque tournant au galvanomètre étant de 6 mètres, l'effet direct de la rotation de la dynamo motrice du disque ou de l'interrupteur, ainsi que celui de la charge du disque immobile, était, par suite, sensiblement nul.

Le galvanomètre employé était un Thomson à 2 paires de bobines, dont la sensibilité, ramenée à zéro (formule de Kohlrausch), était, suivant les expériences, de 5×10^7 à $11,5 \times 10^7$.

Il portait un miroir de 4 mètres de rayon. Les déviations brusques

qu'il pouvait prendre pendant une période d'observation n'excédaient pas 6 ou 7 millimètres dans les plus mauvaises périodes; ces

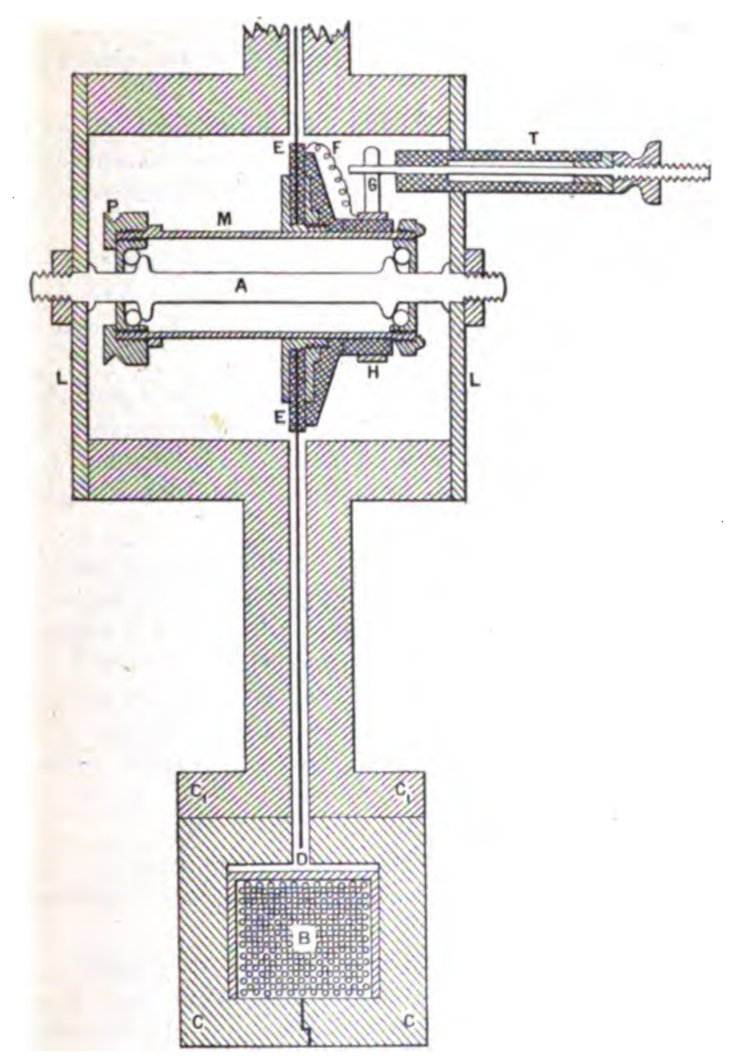


Fig. 1.

chiffres sont très inférieurs à la valeur minimum des déviations attendues.

Le calcul de ces déviations reposait tout entier sur deux sortes de mesures :

D'une part, celles de la vitesse du disque, de la capacité de sa partie dorée et du potentiel de sa charge ;

D'autre part, de l'étalonnage de l'appareil entier, obtenu par le procédé suivant :

Sur un disque d'ébonite identique au disque tournant, on avait cousu six spires de fils de cuivre équidistantes, concentriques au disque, et de diamètre décroissant depuis 365 millimètres jusqu'à 110 millimètres.

On envoyait successivement dans chacune de ces spires, et à l'aide de l'interrupteur même servant à la charge du disque doré, des courants d'intensité connue, du même ordre d'intensité que celle attendue pour la convection.

En notant les déviations obtenues au galvanomètre pour chacune de ces spires, j'ai obtenu facilement un coefficient pratique de l'appareil tel que, connaissant l'intensité d'un courant circulant dans le primaire, on puisse calculer la déviation produite sur le galvanomètre relié au secondaire.

On voit par là que toutes les approximations plus ou moins légitimes qui auraient pu résulter du calcul direct du coefficient d'induction mutuelle de la bobine et du disque, se trouvaient éliminées.

Les intensités réalisées dans mes expériences étaient de 5×10^{-5} à 5×10^{-4} ampères, les déviations attendues de 30 à 160 millimètres.

Les déviations observées restèrent constamment nulles.

Du reste, j'ai vérifié, à la suite d'observations qu'on voulut bien me faire, les points suivants :

Le résultat reste le même :

Avec un disque tournant et des armatures continues ;

Avec un disque divisé en secteurs isolés et des armatures continues ;

Avec un disque et des armatures divisés en parties isolées.

D'ailleurs, ce résultat n'est pas modifié, d'une part, si on fait varier de 5 à 22 par seconde la fréquence de l'interrupteur de charge ;

D'autre part, si on fait varier dans des proportions considérables les valeurs relatives de la self-induction, de la capacité et de la résistance du circuit de charge du disque.

Les trois premières vérifications permettent d'affirmer que la

charge communiquée au disque tournant, et cette charge seule, est bien entraînée.

Les deux autres, qu'aucun phénomène secondaire de décharge oscillante ne vient masquer l'effet attendu de la variation de charge du disque tournant.

Enfin, je me suis assuré, par une expérience directe, que la perméabilité magnétique de la fonte conservait bien une valeur suffisante pour des champs aussi faibles que ceux dus aux courants correspondant à chaque élément circulaire de la partie dorée et chargée du disque tournant.

A la suite de ces expériences, je pensais pouvoir tirer la conclusion suivante

Un disque tournant dans des conditions telles qu'on est sûr qu'il entraîne avec lui la charge électrique qu'on lui communique, ne donne pas, quand on fait varier cette charge, les effets d'induction que donnerait un courant de conduction transportant des quantités d'électricité égales, et soumis à des variations du même ordre.

La question était trop importante pour en rester là ; d'ailleurs, les expériences sont si délicates qu'on ne saurait trop les contrôler.

Enfin, il y avait les résultats inverses des expériences antérieures de Rowland, confirmées par celles de M. Himstedt.

Avant de les reprendre, je voulus toutefois vérifier l'idée que j'ai précédemment exprimée.

Les expériences que je viens de décrire reviennent, en somme, à donner à l'une des armatures d'un condensateur un mouvement rapide de translation par rapport à l'autre armature, dans des conditions telles que, d'une part, la capacité géométrique ne varie pas, et, d'autre part, que l'armature mobile entraîne bien sa charge avec elle.

Or, si le mouvement de cette charge, mobile par rapport à la charge égale et de signe contraire de l'armature fixe, doit suffire à produire un champ magnétique, c'est-à-dire s'il y a transformation d'énergie électrostatique en énergie électromagnétique, il n'est pas absurde, *a priori*, de penser qu'on devra retrouver, au cours de ce mouvement, la perte d'énergie qui accompagne toutes les transformations d'énergie auxquelles il nous est donné d'assister.

Si, d'ailleurs, on admet l'existence de l'effet magnétique d'une charge en mouvement, on calcule que, si on vient à donner aux arma-

tures supposées indéfinies d'un condensateur plan un mouvement de translation dans leur propre plan, l'attraction de ces armatures l'une pour l'autre diminuera quand la vitesse augmente et deviendra nulle lorsque cette vitesse sera égale au rapport des unités électriques. Pour cette vitesse, en effet, la répulsion électrodynamique serait justement égale à l'attraction électrostatique.

Comme il faut bien que ces actions électrostatiques et électrodynamiques résultent de la liaison entre la matière, d'une part, et ce que nous appelons électricité, d'autre part, il est assez naturel de supposer que la nature de cette liaison va se modifier avec la vitesse. Or, en mesurant la capacité de notre condensateur au repos et en mouvement, nous mesurons cette liaison même.

C'est cette mesure que j'ai réalisée.

Les disques au repos n'étaient jamais bien plans et leur position relative par rapport aux armatures fixes se modifiait à mesure que la vitesse augmentait jusqu'à une certaine valeur, à partir de laquelle le système était bien stable. C'était la valeur de la vitesse pour laquelle la force centrifuge était devenue égale aux forces élastiques qui déforment le disque au repos.

J'ai donc mesuré la capacité du disque pour cette valeur de la vitesse, qui était de 30 tours par seconde environ, et pour les valeurs maxima de 120 tours par seconde.

La capacité de la partie dorée des disques d'ébonite était d'environ 340 C. G. S. électrostatiques.

Je l'ai mesurée par une méthode de zéro, en opposant, sur un électromètre à cadran très sensible, le disque à un condensateur à capacité variable.

Celui-ci était un condensateur plan à anneau de garde; le plateau mobile était commandé par une vis donnant le $\frac{1}{100^e}$ de millimètre; la surface du plateau central était de 78,5 centimètres carrés.

Comme la capacité aurait été trop faible, pour des épaisseurs d'air convenables, j'ai construit quatre condensateurs cylindriques fixes, à armatures d'air, mais très bien isolées à la paraffine. Chacun avait une capacité voisine de 100.

D'ailleurs, en chargeant les cadrans de l'électromètre à 700 volts, son aiguille donnait, sur une aiguille placée à 2 mètres de distance, une déviation de 10 à 12 millimètres pour 1 centième de volt.

Il est facile de voir que je pouvais, par conséquent, apprécier

des variations de capacité de 1 centième de C. G. S. électrostatique, et, par suite, des variations de l'ordre des 3×10^{-6} de la valeur de la capacité de la dorure du disque tournant.

J'ai mesuré un très grand nombre de fois cette capacité pour une vitesse de 30 tours par seconde, puis pour une vitesse de 120 tours. Les résultats de ces mesures sont absolument concordants, et on ne trouve, entre les différents chiffres des deux séries et leurs moyennes, que des différences du même ordre que celles existantes entre les chiffres d'une même série et résultant des erreurs de la méthode même.

Il était assez naturel de supposer que la modification subie par la capacité devait être en raison directe du rapport de la vitesse linéaire de l'armature au rapport V des unités électriques, c'est-à-dire à 3×10^{10}.

Or, la vitesse linéaire moyenne v variait de 3×10^{3} à 10^{4}, et le rapport $\frac{v}{V}$ de 10^{-7} à 4×10^{-7}.

Ce sont des variations de l'ordre de celles que la méthode employée aurait permis d'évaluer.

Le résultat final semble donc négatif.

Il faut remarquer, toutefois, que les variations à mesurer sont aussi du même ordre que les erreurs d'expérience.

On ne saurait donc tirer, pour le moment, de conclusion bien nette.

Il y aurait peut-être lieu de reprendre ces déterminations avec une méthode plus sensible.

Après les résultats négatifs obtenus pour l'effet d'induction de la convection électrique, il était nécessaire de répéter les expériences relatives à l'effet magnétique de la convection.

Je me plaçai donc dans des conditions très voisines de celles où Rowland, puis M. Himstedt, avaient opéré.

J'utilisai d'ailleurs dans ce but, une grande partie des dispositifs expérimentaux qui m'avaient servi pour les recherches sur l'induction.

On trouvera (1) ailleurs une description détaillée des expériences effectuées.

---

(1) Crémieu, *loc. cit.*

Le principe était le suivant :

Un disque d'ébonite, doré suivant des secteurs isolés les uns des autres, tourne entre deux armatures parallèles diélectriques, à dorure divisée, elle aussi, en secteurs.

Parallèlement au plan du disque, et en dehors du condensateur ainsi formé, on place l'aiguille inférieure d'un système astatique très sensible dont l'aiguille supérieure se trouve assez loin du disque pour que son action sur elle soit négligeable.

Dans ces conditions, on vérifie, d'une part, que la charge ou la décharge du disque immobile ne produit aucune déviation de l'aiguille aimantée ; il est nécessaire, pour y arriver, d'entourer le système astatique d'un écran électrique relié au sol.

D'autre part, on s'assure que la rotation du disque non chargé n'influe pas sur le même système.

On fait alors tourner le disque et on le charge. Si la convection produisait un effet magnétique, on devrait avoir, à ce moment, une déviation de l'aimant.

Les quantités d'électricité transportées par convection atteignaient, dans ces expériences, jusqu'à 5×10^{-4} coulombs par seconde, c'est-à-dire environ 100 fois plus que dans les expériences de Rowland, et 10 fois plus que dans celles de M. Himstedt.

La sensibilité du système astatique était de 2×10^3 à $3{,}7 \times 10^3$ (Kohlraushe), c'est-à-dire du même ordre que celle du système de Rowland.

Cette sensibilité était mesurée à l'aide d'une spire témoin, de diamètre calculé égal à la partie moyenne de la région dorée du disque tournant, et fixée dans l'appareil, dans une position symétrique de celle du disque par rapport à l'aiguille inférieure du système astatique.

Les chiffres donnés ci-dessus expriment la sensibilité ramenée à 0 du galvanomètre formée par cette spire témoin et le système astatique.

D'ailleurs, cette spire permettait de comparer, à chaque instant, au courant de convection, un courant de conduction équivalent.

Or, les résultats obtenus furent constamment négatifs, bien que les déviations attendues fussent très notables (70 millimètres en moyenne à 1 mètres de distance).

Il fallait, en présence de ce résultat, retrouver les déviations observées par mes prédécesseurs, et en déterminer la cause exacte.

Pour y arriver, j'ai éliminé successivement de mon appareil toutes

les différences de détail qu'il présentait avec les leurs; j'ai trouvé ainsi que, dans leurs expériences, le système astatique *aa* (*fig.* 2) se trouve séparé du disque tournant D par des plateaux fixes formés de secteurs d'étain 1 collés sur de l'ébonite ou du verre 2.

Dans mes expériences, le système *aa* (*fig.* 3) est séparé du disque par deux couches métalliques : laiton 1, étain 3, entre lesquelles se trouve la feuille de mica 2.

J'ai alors remplacé ces plateaux laiton, mica, étain, par des plateaux ébonite-étain. Dans ces conditions, j'ai obtenu des déviations réversibles à la fois avec le signe de la charge et le sens de la rotation du disque; leur sens coïncide avec celui que donnerait l'effet magnétique de la convection électrique.

C'est là le résultat de Rowland et de M. Himstedt. Mais le hasard de l'expérimentation m'a permis de constater que ces déviations disparaissent dès qu'on interpose une seconde couche métallique, parallèle et voisine de la couche d'étain, entre le disque et le système astatique.

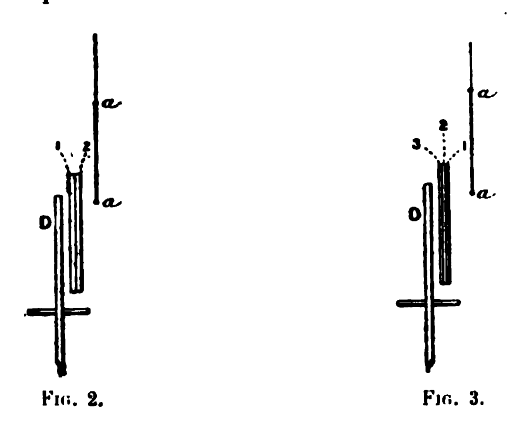


Fig. 2. Fig. 3.

Ces déviations ne sont donc pas dues au champ magnétique du courant continu auquel équivaudrait la convection électrique. Une plaque métallique ne peut, en effet, ni diminuer ni supprimer l'action magnétique d'un courant continu, comme il est, du reste, facile de le vérifier dans mes expériences, à l'aide de la spire témoin.

D'autre part, l'ordre de grandeur de ces déviations s'accorde bien avec celui calculé pour la convection électrique, lorsque celles-ci seraient faibles; mais il n'augmente pas avec les conditions qui feraient croître cette convection.

Je n'ai pu, en effet, obtenir plus de 12 à 14 millimètres, alors même que la convection aurait dû donner 175 millimètres.

D'ailleurs, une étude approfondie de ces déviations m'amena à penser qu'elles étaient dues à des courants ouverts, circulant dans les secteurs d'étain fixes, par suite de la rotation des secteurs mobiles.

Mais le point intéressant, c'était qu'elles n'étaient pas dues à l'effet magnétique de la convection électrique.

Je crois donc pouvoir tirer cette conclusion :

Un disque tournant, chargé dans des conditions telles qu on est sûr qu'il entraîne bien avec lui sa charge, ne produit pas les effets magnétiques d'un courant de conduction transportant la même quantité d'électricite.

M. Potier (1) fit alors l'objection suivante, qui a été répétée sous une forme un peu différente par M. Pocklington (2) :

Toutes les expériences précédentes prouvent seulement qu'une erreur s'était glissée dans les expériences de Rowland ; mais elles laissent entière la question de l'effet magnétique de la convection électrique.

En effet, dans les idées de Faraday et de Maxwell, cet effet magnétique résulterait du balayage de l'espace par les lignes de force électriques entraînées avec la charge du disque tournant. Mais, si ce disque tourne entre des armatures fixes, reliées au sol, l'espace balayé par les lignes de force se trouve limité justement à la portion du diélectrique comprise entre le disque et ses armatures; il n'est donc pas étonnant que l'on n'observe rien en dehors de cette région.

Cette objection peut se discuter de bien des façons; on peut en particulier faire remarquer que, si on se place dans les mêmes idées, on doit aussi admettre qu'un courant continu permanent ne produit ses effets magnétiques que par suite d'un balayage de l'espace par des lignes de force électriques. Or les écrans électriques les plus épais ne diminuent pas ces effets magnétiques.

Les écrans électromagnétiques, très bons conducteurs, retardent les effets magnétiques du courant, dans les périodes variables; mais ils n'atténuent en rien les effets permanents.

Toutefois, je préférai répondre expérimentalement; puisque le

(1) *Eclairage électrique*, t. XXV, p. 352 ; 1900.
(2) *Phil. Mag.*, mars 1901, p. 325.

rôle des armatures fixes était de nature à rendre douteux les résultats obtenus, il n'y avait qu'à supprimer ces armatures.

Je fis alors l'expérience suivante :

Le disque d'ébonite D (*fig.* 4) des expériences précédentes est doré suivant 3 secteurs SS (*fig.* 5). Chaque secteur communique par une bande dorée avec un plot *p*, placé sur le moyeu M, dans un noyau d'ébonite. Les secteurs sont très soigneusement isolés les uns des autres. Chacun d'eux est, en outre, divisé par de petits traits radiaux de 2 millimètres de large, en une série de petits secteurs, communiquant seulement par leur partie interne, ainsi que le montre une partie du secteur S_1S_1 (*fig.* 5).

La moitié inférieure du disque est comprise entre deux plateaux de verre C, C, fixés au bâti de bronze et recouverts, sur leurs faces externes, de papier d'étain relié au sol. Les dimensions sont telles que la capacité électrostatique C. G. S. d'un secteur SS compris entre ces deux plateaux est sensiblement égale à 140.

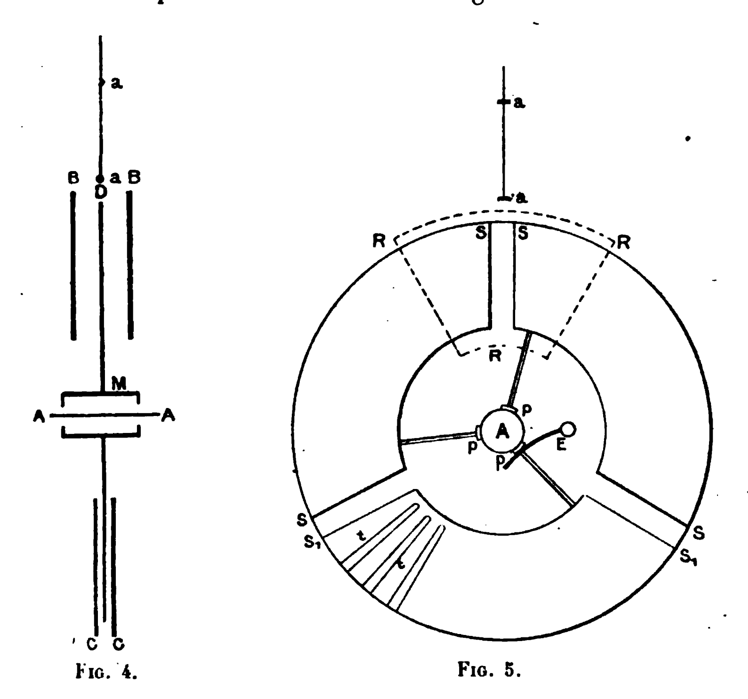


Fig. 4. Fig. 5.

La moitié supérieure du disque est comprise entre deux plateaux d'ébonite B, B, recouverts d'étain sur leurs faces extérieures et dis-

tants du disque de 10 millimètres, de façon à pouvoir placer un système astatique au voisinage immédiat du disque et plus près de celui-ci que des plateaux fixes.

De plus, le papier d'étain qui recouvre ces plateaux a été enlevé suivant un secteur de 60° RRR, dont la bissectrice correspond à la région qu'on veut étudier avec le système astatique.

Un balai E permet de charger les secteurs; il est disposé de telle façon que chaque secteur se charge au moment où il est compris entre les plateaux inférieurs C, C. Il s'isole ensuite et vient agir sur le système astatique. Les sillons *t*, *t* sont destinés à limiter les courants de conduction qui se produisent dans chaque secteur, par suite du passage de la grande capacité CC à la faible capacité BB.

Grâce à cette disposition, le secteur conservait toute sa charge, et venait agir sur le système astatique placé dans la région RR, où les secteurs métalliques fixes sont supprimés.

L'appareil avait aussi une spire témoin.

Le système astatique aurait dû ne pas être protégé par un écran électrique, pour être absolument à l'abri de l'objection de M. Potier.

J'essayai donc de supprimer, par symétrie, les effets électrostatiques directs du disque sur le système. Mais ce fut sans succès, et je dus interposer un écran. Dans une première expérience, cet écran était formé de papier graphité. Lorsque le disque était au repos, cet écran était parfaitement efficace.

Je fis alors l'expérience complète, et j'obtins des déviations reversibles à la fois avec le sens de la rotation et le signe de la charge.

En les étudiant de près, il me fut facile de voir qu'elles avaient une origine purement électrostatique. En particulier elles restaient identiques si *on supprimait les aiguilles aimantées sur la lame de mica du système astatique.*

Elles disparaissaient aussi, dans tous les cas, si on substituait à la couche de graphite de l'écran une couche de papier d'étain.

En même temps, je constatais, au moment de l'inversion de charge du disque, l'existence d'aigrettes très peu lumineuses, dont la production entraînait toujours de faibles déviations du système astatique.

Le résultat ainsi obtenu confirme donc les précédents. Il m'a, de plus, permis de retrouver deux autres causes d'erreur, qui ont pu tromper des expérimentateurs un peu disposés à admettre *a priori* la réalité de ce qu'ils voulaient vérifier.

Mais, de l'ensemble précédent, il semble bien résulter que la convection électrique ne produit pas d'effets magnétiques.

Il en résulte immédiatement qu'il doit exister des courants ouverts. On peut en effet maintenir par convection une différence de potentiel constante entre deux points reliés par un conducteur.

Tout le long de ce conducteur, il y aura un champ magnétique *dont les lignes de forces ne se fermeront pas.*

Il y avait intérêt à vérifier l'existence de pareils courants. J'ai alors fait, sur les conseils de M. H. Poincaré, l'expérience suivante :

Un disque en ébonite D (*fig.* 6), de 37 centimètres de diamètre et de 2mm,5 d'épaisseur, a été doré suivant 25 secteurs radiaux de 34 centimètres de diamètre extérieur, 24 centimètres de diamètre intérieur, et distants les uns des autres de 10 millimètres.

Ce disque, mobile autour d'un axe horizontal, tourne entre deux plateaux fixes en ébonite, F et F′.

Le plateau F′ porte un secteur d'étain S ayant mêmes rayons que les secteurs mobiles, mais deux fois plus large qu'eux.

En face de S et sur le plateau F se trouve un balai B, qui frotte sur les secteurs mobiles ; B est relié à un second balai B′, décalé d'environ 60° par rapport à B et placé aussi sur le plateau F

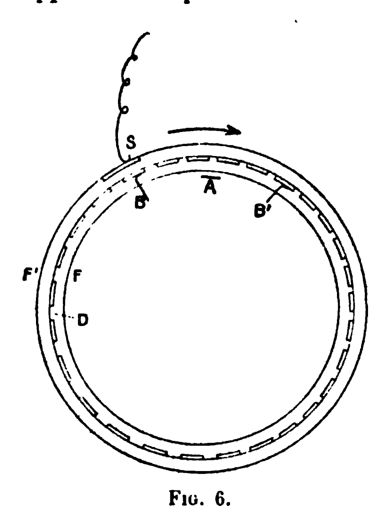


Fig. 6.

Si on fait tourner le disque D, puisqu'on relie le secteur S à une source électrique, les secteurs mobiles se chargeront par influence en passant au contact de B et viendront se décharger sur B′.

Il y aura donc, entre B et B′, d'une part un courant de convection, d'autre part un courant de conduction.

Le potentiel en S est de 100 à 130 C. G. S. électrostatiques ; la distance entre S et les secteurs mobiles, de 5 millimètres ; la vitesse du disque, de 65 à 85 tours par seconde ; la quantité d'électricité transportée par convection est de 2×10^{-4} à 10^{-4} coulombs par seconde ; et, par conséquent, le courant dans le fil BB′ de 2×10^{-4} à 10^{-4} ampères.

Entre les deux balais, au niveau du bord supérieur de la dorure du disque tournant, et à 15 millimètres en avant de celui-ci, on a placé l'aiguille inférieure A d'un système astatique dont l'aiguille supérieure se trouve à 20 centimètres au dessus. Une spire conductrice de diamètre égal à celui de la partie moyenne de la dorure du disque tournant est fixée dans une position symétrique de cette région par rapport à l'aiguille inférieure du système.

Celui-ci est réglé de telle façon qu'un courant de 10^{-4} ampères circulant dans cette spire témoin produit une déviation de 10 millimètres sur une échelle placée à 4 mètres de distance.

Le mode opératoire est le suivant :

Dans une première expérience, on relie les balais B et B′ à un galvanomètre par des fils qui passent très loin du système A et sont d'ailleurs symétriquement placés par rapport à A, de façon que leur action magnétique s'annule. La seule partie du circuit qui pourrait agir sur A serait alors la convection entre B et B′. Dans ces conditions, le disque étant mis en rotation, si on vient à charger S, on observe une déviation du galvanomètre, tandis que le système A reste immobile.

D'ailleurs, la déviation du galvanomètre permet de mesurer l'intensité du courant réalisé.

Dans une deuxième expérience, les balais B et B′ sont réunis par un fil de résistance égale à celle du galvanomètre collé sur le disque F, au niveau de la région moyenne de la partie dorée du disque tournant D.

On observe alors, au moment où on charge le secteur S, une déviation permanente du système A, qui cesse dès qu'on remet S au sol. La déviation observée est justement identique à celle que donne, sur A, un courant égal à celui mesuré dans l'expérience précédente et envoyé dans la spire témoin.

On a d'ailleurs vérifié que le sens des déviations du système A change avec le signe de la charge en S.

Le courant qui circule entre B *et* B' *est donc un courant ouvert.*

Je ferai observer, de plus, que la première partie de cette expérience constitue une forme très nette de transport d'électricité par convection, sans effet magnétique, dans laquelle la quantité d'électricité transportée est mesurée directement, ainsi que tous les autres facteurs de l'expérience.

La conclusion finale de toutes ces expériences est donc que *la convection électrique ne produit pas d'effet magnétique et qu'il existe des courants ouverts.*

Toutes les objections qu'on faisait à propos des premières expériences tombent en effet devant la dernière.

On avait fait observer, en particulier, que la rotation d'un disque chargé, quelle que soit la division en secteurs qu'on donne à sa dorure, n'apporte, dans la distribution électrique, aucun trouble comparable à celui qui accompagnerait, par exemple, le passage d'un boulet de canon chargé à travers l'espace. J'ai même essayé de réaliser un transport d'électricité par un procédé de ce genre. Je chargeais, par influence, des grains de sable entraînés à grande vitesse par un courant de gaz carbonique. Mais je n'ai pu arriver à transporter ainsi plus de 10^{-7} coulombs par seconde, c'est-à-dire trop peu pour pouvoir espérer voir les effets magnétiques, s'ils existaient. Cette expérience a été tentée avant les deux dernières, faites avec des disques tournants.

Mais la dernière lui est absolument comparable. Les petits secteurs, complètement isolés, qui forment, dans leur rotation, la branche convection du courant ouvert, sont exactement comparables à des corps chargés, et je ne vois pas la différence qu'il peut y avoir entre les effets de leur mouvement dans l'espace et ceux du déplacement d'un projectile quelconque. Il n'y a ici ni armature fixe, ni même cette sorte de continuité, de symétrie autour d'un axe qu'on reprochait aux dispositions précédentes. Il n'y a jamais de chargée qu'une faible partie des secteurs qui couvrent le disque.

En ce qui concerne l'effet magnétique de la convection électrique, la question semble donc bien résolue par la négative.

Le problème qui se pose actuellement porte tout entier sur la contradiction qui résulte de la notion même de courants ouverts

et que les équations rappelées au début de cet article font ressortir d'une manière tout à fait nette.

Guidé par les conseils de M. H. Poincaré, j'ai entrepris une étude détaillée des courants ouverts, dont j'espère publier bientôt quelques résultats.

Mais on ne saurait affirmer, à l'avance, que c'est de cette étude que sortira la solution du problème. On ne peut la faire, en effet, qu'en se guidant sur ce qui a été fait pour les courants fermés, et en recherchant des différences.

Or, tout ce qu'on sait sur les courants fermés cadre assez bien avec la conception qu'on se faisait de la nature de la conduction.

Peut-être est-ce plutôt à des notions expérimentales plus justes, sur la nature de ce que nous appelons électricité ou électrisation, qu'il faudrait s'adresser tout d'abord. Une idée plus exacte du phénomène de la conduction en sortirait certainement, qui permettrait de résoudre plus sûrement le problème qu'une adaptation d'idées anciennes fort probablement erronées.

Poids moléculaires et formules développées ;

Par M. R. Lespieau (1).

La notion d'atomes et de molécules s'introduit dans la Physique par un grand nombre de portes : on la rencontre dans la théorie cinétique des gaz et dans la théorie des solutions, dans l'étude des indices de réfraction et dans l'étude des phénomènes capillaires. Lorsque cette notion se présente à lui, le physicien la définit comme il l'entend, et il est très remarquable de voir que les résultats auxquels il arrive sont, en général, parfaitement d'accord avec les conceptions des chimistes.

Est-ce à dire pour cela qu'il faille se comporter comme si ces conceptions ne reposaient sur aucun fondement, qu'il faille exiger des chimistes qu'ils définissent les poids moléculaires par telle ou telle donnée physique, laquelle apporterait, dans la détermination de ces poids, la précision des mesures dont elle est susceptible ?

Nous ne le pensons pas ; ce procédé serait peut-être légitime, si le physicien démontrait l'existence des atomes et des molécules, s'il

(1) Séance du 3 mai 1901.

démontrait, par exemple, que des volumes égaux de gaz renferment le même nombre de molécules, les molécules en question étant justement celles qui jouent un rôle dans les phénomènes chimiques. Or nous n'en sommes pas là ; les chimistes ont même le droit de penser que les molécules dont ils parlent ne sont pas toujours identiques à celles dont s'occupent les physiciens.

Comment les chimistes arrivent-ils à la notion de poids atomique? Par deux voies assez différentes qui ont chacune leurs partisans : Pour les uns, l'hypothèse des atomes fournit de la loi de Dalton une interprétation si simple qu'il est naturel de l'adopter. De même l'hypothèse d'Avogadro découle des lois de Gay-Lussac et fournit un moyen commode de déterminer les poids moléculaires des gaz.

Pour les autres, les mêmes lois conduisent à la notion de nombres proportionnels. Le nombre de systèmes de nombres proportionnels est infini(¹) (A. Joly, *Cours élémentaire de Chimie*, 3ᵉ édition).

Chaque nombre proportionnel peut, en effet, être multiplié par un rapport simple sans perdre ses vertus. Tous les systèmes se valent ; cependant, l'un d'eux a sur les autres un avantage : les nombres qui le constituent sont les poids de volumes égaux, les corps étant pris à l'état gazeux ; aussi lui donne-t-on la préférence.

Le premier système est celui préconisé par Wurtz dans *la Théorie atomique*, par Grimaux dans *Théories et Notations ;* c'est celui de l'école atomiste. Le deuxième est courant dans l'enseignement secondaire français ; ses partisans lui trouvent l'avantage d'être exempt d'hypothèses ; nous verrons tout à l'heure ce qu'il faut en penser.

Auparavant il est nécessaire de remarquer que, dans ces deux systèmes, on ne s'est pas préoccupé d'un point sur lequel pourtant les chimistes s'accordent en principe et qui nous paraît capital. Les formules chimiques ne sont pas faites exclusivement pour simplifier les calculs des réactions analytiques ; elles doivent résulter d'un examen approfondi des réactions de chaque corps, et par suite, les refléter, être telles qu'elles rappellent ces réactions à notre esprit.

Pour ceux qui admettent la théorie atomique, la connaissance d'un nombre suffisant de combinaisons gazeuses permet de déterminer les poids atomiques des divers corps simples. Quand on se trouvera en présence d'un composé nouveau, son analyse et sa densité de vapeur

---

(¹) Nous renvoyons à ce traité parce qu'on y trouve un effort sérieux fait en vue d'arriver logiquement à la notation atomique sans hypothèses.

étant connues, on saura le nombre et la nature des atomes qui composent sa molécule. Il ne restera plus qu'à chercher l'arrangement de ces atomes, et l'on connaîtra tout ce qui peut influer sur les réactions du composé. On est donc certain d'arriver à une formule en accord avec les propriétés chimiques. Wurtz, dans son livre, constate que le système actuel des poids atomiques est en harmonie avec les analogies chimiques ; il n'en est nullement surpris.

Mais, si l'on pense que les formules HO, SO^3 HO, $C^4H^6O^2$... et H^2O, SO^4H^2, C^2H^6O — se valent, que les secondes n'ont sur les premières d'autre avantage que de représenter des volumes de vapeur égaux (quand les corps sont vaporisables sans décomposition), comment peut-on prétendre arriver à un système en accord avec les propriétés chimiques, lorsque seule une considération d'ordre physique a décidé du choix ?

Les nombres proportionnels présentent bien d'autres points faibles. Pour établir leur existence, on s'appuie sur des lois où il est constamment question de *rapports simples*. Que restera-t-il de la théorie si l'on s'aperçoit que les rapports se compliquent? Dira-t-on qu'un nombre proportionnel peut être multiplié par un *rapport quelconque?* La complication dont nous parlons ne saurait gêner les atomistes ; leurs hypothèses ont bien été suggérées par la connaissance d'un certain nombre de phénomènes simples ; mais elles n'exigent pas qu'ils soient seuls à se présenter.

La loi de Dalton, par exemple, devrait s'énoncer ainsi : Lorsque deux corps s'unissent en plusieurs proportions, il arrive parfois qu'à un poids fixe de l'un d'eux s'unissent des poids de l'autre, qui sont entre eux dans des rapports rigoureusement simples.

C'est ainsi que, pour la même quantité de carbone, le gaz des marais renferme une quantité d'hydrogène exactement double de celle qui est contenue dans le gaz oléfiant. Ceci est la partie inattaquable jusqu'ici, et les progrès de l'analyse chimique n'ont fait que la rendre plus certaine.

Mais est-il permis de dire, comme on le fait dans l'enseignement, qu'il ne se rencontre que des rapports simples ? Autrefois on pouvait le croire, aujourd'hui non. Le méthane et l'éthylène ne sont point les seuls carbures d'hydrogène. Comparons les carbures $C^{13}H^{12}$ et $C^{28}H^{26}$.

Ces carbures existent ; il s'en trouve même plusieurs répondant à l'une de ces formules.

Ici, à un même poids de carbone s'unissent des poids d'hydrogène, qui sont entre eux dans le rapport $\frac{12 . 14}{13 . 13}$. Je sais bien que l'analyse chimique n'est pas assez précise actuellement pour distinguer ce rapport de l'unité; mais, néanmoins, la façon dont les carbures ont été obtenus, leurs réactions, leurs constantes, établissent ses formules avec assez de certitude pour que nous puissions affirmer que le rapport est bien $\frac{168}{169}$ et non $\frac{169}{169}$.

Si cet exemple était isolé, s'il avait fallu de longues recherches pour le trouver, peut-être resterait-il quelque hésitation dans notre esprit, accoutumé aux rapports simples ; mais il n'en est pas ainsi, et il suffit, pour s'en rendre compte, d'ouvrir un traité de chimie qui ne soit pas trop incomplet.

Au reste, si les lois pondérales des combinaisons appliquées aux composés de deux ou de plus de deux corps entre eux comportaient des rapports toujours simples, on ne devrait rencontrer que des formules à exposants simples. Or quel est le chimiste qui rejettera *a priori*, uniquement à cause de leur complexité, des formules du genre de celles-ci :

$$PTu^{11}O^{43}H^{15}18H^{2}O$$
$$PTu^{10}O^{38}H^{11}8H^{2}O$$
$$C^{240}H^{387}Az^{65}H^{75}S^{3}.$$

proposées pour représenter l'albmine et certains acides phosphotungstiques ?

Dalton crut à la simplicité des rapports ; c'est du moins ce qu'affirme Sainte-Claire Deville (*Ann. de l'Ec. Normale*, 2ᵉ S., t. V, p. 202), et pourtant, comme le dit Wurtz, « esprit élevé, Dalton ne s'arrêta pas aux faits, mais chercha à en rendre compte par une conception théorique ». Il « supposa que la matière était formée d'atomes ». Deville fait remarquer (*loco citato*, p. 201) que cette hypothèse n'a pas pour conséquence la loi des proportions multiples, lorsqu'il est question de multiples simples, qu'il aurait fallu ajouter : « les combinaisons s'effectuent entre des atomes associés en nombres entiers petits ». Dalton ne l'a pas fait, et c'est justement pour cette raison que son hypothèse n'est point en contradiction avec les progrès de la chimie, tandis qu'on n'en pourrait dire autant de la loi des rapports simples.

Dans certains cas, nous observons que les poids d'un corps qui se

combinent à un poids constant d'un autre sont des multiples d'un même nombre. Par suite de l'imperfection de nos méthodes d'analyse, nous ne pouvons constater ce fait avec certitude que si ces multiples sont simples. N'est-il pas naturel d'admettre par généralisation que, dans tous les cas, les poids en question sont des multiples d'un même nombre, simples ou non, et, ce faisant, est-on bien éloigné de l'hypothèse de Dalton ?

Les lois de Gay-Lussac, qui ont joué un rôle capital dans l'histoire de la chimie, ne sont pas à l'abri des critiques précédentes. Il n'y a, pour s'en rendre compte, qu'à essayer de les appliquer aux carbures d'hydrogène ; car, pour inconnu que nous soit le volume de 12 de carbone en vapeur, il n'en a pas moins une valeur. L'une de ces lois, relative aux contractions, a disparu de la science, les autres ne peuvent être considérées que comme de simples remarques applicables aux corps présentant l'état gazeux, dans les conditions habituelles de température et de pression, mais ne sauraient servir à édifier un système de formules applicables à tous les corps.

Ainsi l'hypothèse de l'existence des atomes nous paraît bien supérieure à la théorie des nombres proportionnels, et nous l'adopterions volontiers. Mais cela n'est même pas indispensable pour arriver à donner à chaque corps une formule et, par suite, un poids moléculaire.

Disons avec Gerhardt : « Les formules chimiques ont pour but de « rendre évidentes, de la manière la plus simple et la plus exacte, les « relations qui rattachent les corps entre eux sous le rapport de la « transformation. Toute réaction chimique peut se rendre par une « équation. Représenter un corps par une formule rationnelle, c'est « résumer par des signes de convention un certain nombre d'équa- « tions. Les formules rationnelles sont donc en quelque sorte des « équations contractées. »

Appliquons ceci à des exemples classiques :

Après avoir exposé les belles recherches de Graham sur l'acide phosphorique, ne peut-on dire : l'hydrogène de cet acide est susceptible de se fractionner en trois parties ? Pour rappeler ce fait, nous écrirons dans sa formule trois fois le symbole de l'hydrogène, et nous appellerons alors poids moléculaire de cet acide le poids qui renferme 3H. Avec $H = 1$, l'analyse nous apprend que ce poids est 98. Cet exemple n'est pas unique : l'hydrogène combiné se prête presque toujours à des substitutions par les métaux, le chlore, les radicaux

hydrocarbonés ; ces substitutions ne portent généralement que sur une fraction de l'hydrogène. Choisissons la formule qui s'accommode le mieux des fractionnements observés.

Quand nous aurons cité le travail de Williamson sur l'éther, nous le résumerons en disant : la composition de l'éther est celle d'un alcool déshydraté. On respecterait donc sa composition en lui donnant la même formule qu'à l'alcool, en éliminant toutefois les éléments de l'eau. Mais il vaudra mieux doubler la formule de l'alcool avant de faire cette élimination, parce qu'alors nous ne séparerons pas, dans notre symbolisme, les phénomènes absolument semblables de l'éthérification d'un alcool et de l'éthérification d'un mélange d'alcool, parce que nous pourrons ainsi représenter commodément les éthers mixtes.

Nous démontrerons de même, avec Wurtz, que, si l'iodure de méthyle est CH^3I, le corps obtenu en traitant par le sodium est non pas CH^3, mais $CH^3.CH^3$. Nous nous appuierons pour cela sur les résultats de l'action du sodium sur un mélange d'iodures alcoylés.

En un mot, nous considérerons chaque combinaison comme une sorte de mécanisme ; pour en connaître les différentes pièces, nous le démonterons par l'analyse, puis nous essaierons de les remettre en place par la synthèse, et nous trouverons ainsi à la fois la formule développée et le poids moléculaire. Avant les belles découvertes de Raoult, on ne faisait pas autrement pour fixer la formule des composés non volatils, et la cryoscopie n'a point détruit les résultats acquis ; elle s'est imposée parce qu'elle les confirmait.

En acceptant ces vues, on est amené à considérer l'énoncé d'Avogadro non plus comme une hypothèse, mais comme une loi au même titre que la loi de Raoult. Elle ne sert point à définir les poids moléculaires, elle sert à déterminer rapidement une valeur approchée quand il s'agit de gaz. Mais nous ne saurions admettre une définition conduisant à cette conséquence : « les corps non volatils ne « peuvent avoir par conséquent de poids moléculaire. »

Si, dans les recherches, il est commode, pour aller vite, de faire un usage constant des données physiques et de la notion de valence, il n'en est pas moins certain que, dans l'enseignement, il est beaucoup plus instructif de montrer comment les réactions de chaque corps conduisent peu à peu à la formule qu'on lui a donnée. Il restera dans l'esprit de l'élève que la méthode des sciences chimiques n'est point celle des sciences mathématiques, qu'une formule ne se démontre pas comme un théorème, qu'on peut simplement lui trouver des

avantages et qu'un jour on l'abandonnera peut-être pour une autre plus en harmonie avec les faits. L'histoire est là pour lui apprendre que la silice et, plus récemment, l'acide hypoazoteux, l'acide persulfurique, ont changé de formules.

Nous ne saurions conclure mieux que par une citation de Friedel : « On ne doit pas perdre de vue que les idées d'Avogadro et d'Am- « père ne sont autre chose qu'une hypothèse physique, féconde en « conséquences, il est vrai, même au point de vue chimique, mais « devant céder le pas aux considérations chimiques, lorsqu'il s'agit « de déterminer les poids des atomes et des molécules. »

Études spectrophotométriques sur les Indophénols [1] ;

Par MM. Camichel et Bayrac.

La position dans le spectre des bandes brillantes ou obscures données par les corps absorbants est, en général, définie par les extrémités *apparentes* de ces bandes. Ce procédé a l'inconvénient de donner des résultats variables avec l'épaisseur du corps traversé, la nature de la source lumineuse qui éclaire le spectroscope, et la concentration, si l'on a affaire à une dissolution.

Sous l'influence d'une augmentation d'épaisseur, une bande brillante paraît se déplacer du côté des radiations pour lesquelles le milieu est plus transparent. La conclusion inverse s'applique aux bandes noires. Les variations de concentration produisent des effets analogues aux changements d'épaisseur. Si l'intensité des radiations les plus réfrangibles est augmentée dans la source qui éclaire le spectroscope, la bande brillante se déplace dans le spectre du côté de ces radiations.

La définition d'une bande par le point P correspondant au maximum ou au minimum du coefficient d'absorption donne, au contraire, des résultats indépendants des conditions de l'expérience, du moins dans les solutions pour lesquelles le coefficient d'absorption est proportionnel à la concentration, cas très général. On peut déterminer le

---

(1) Séance du 12 avril 1901.

point P par un dispositif identique au spectrophotomètre de M. Crova. La fente d'un spectroscope à grande dispersion [1] est divisée en deux parties, dont l'une est éclairée par un faisceau d'intensité I_1, qui traverse deux nicols ; l'autre moitié est éclairée par un faisceau d'intensité I_2, sur le trajet duquel est installée une cuve contenant le dissolvant pur, les faces de la cuve étant perpendiculaires à la direction du faisceau I_2.

L'égalité des deux spectres correspond à l'équation :

$$I_1 \sin^2 \alpha' = KI_2,$$

K désignant une constante et $\frac{\pi}{2} - \alpha$ l'angle des deux nicols. Les deux sources étant identiques, l'égalité a lieu simultanément pour toutes les couleurs ; l'angle α est indépendant de λ.

On place, normalement au faisceau I_2, la cuve contenant la dissolution étudiée, et l'on réalise l'égalité des deux spectres pour une longueur d'onde λ ; l'angle des deux nicols est alors α ; on a :

$$I_1 \sin_2 \alpha' = KI_2 e^{-\zeta c \varphi(\lambda)} ;$$

Z désigne l'épaisseur du corps traversé, c la concentration, et $\varphi(\lambda)$ le coefficient d'absorption correspondant à l'unité d'épaisseur et à l'unité de concentration.

On a :

$$\frac{\sin^2 \alpha'}{\sin^2 \alpha} = e^{-\zeta c \varphi(\lambda)}.$$

On voit que les maxima et minima de la courbe représentant $\sin^2 \alpha'$ en fonction de λ sont données par l'équation :

$$\varphi'(\lambda) = 0.$$

Il suffit donc de déterminer les maxima et minima de la courbe $\sin^2 \alpha'$.

Dans le plan focal de la lunette astronomique du spectrophotomètre se trouvent deux volets qui permettent de limiter la radiation observée ; on amène à l'égalité les deux spectres à l'une des extrémités apparentes de la bande, on lit la division correspondante du micromètre n, et l'angle α' des deux nicols. On déplace d'un mouvement lent la lunette astronomique : la différence d'éclat entre les deux plages limitées par les volets apparaît, augmente, atteint un maxi-

---

(1) Modèle Duboscq et Pellin.

mum, diminue et redevient nulle pour une division n' du micromètre.

On examine ensuite deux points de la bande plus rapprochés; l'angle des deux nicols est α'_2 les divisions du micromètre correspondant à l'égalité des deux plages sont n_2 et n'_2, etc.

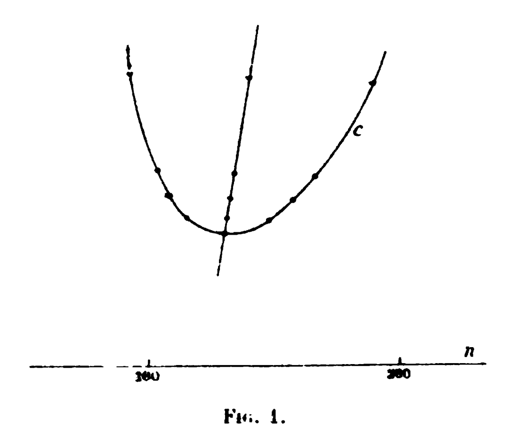


Fig. 1.

On construit la courbe C (*fig.* 1) ayant comme abscisses n et comme ordonnées $\sin^2 \alpha'$. On joint les milieux des cordes horizontales ayant comme ordonnées :

$$\sin^2 \alpha'_1, \quad \sin^2 \alpha'_2, \quad \sin^2 \alpha'_3, \quad \text{etc.},$$

le lieu de ces points est le plus souvent une droite dans un intervalle assez grand. On prend l'intersection de cette droite et de la courbe C ; on détermine ainsi avec exactitude la position des maxima et minima de transparence.

Voici un exemple d'une détermination : dissolution alcoolique de l'indophénol dérivé du paroxylénol :

n	n'	$\frac{n+n'}{2}$	α'	$\sin^2 \alpha'$
94	190	142	19°,7	0,1136
105	173,5	139,2	16°,3	0,0787
111,8	160,0	135,9	15°,1	0,0679
120	150,5	135,2	14°,1	0,0593
135			13°,4	0,0537

La courbe C est représentée *fig.* 1.
Le minimum de transparence correspond à la division 134, c'est-à-dire à la longueur d'onde 571.

La méthode précédente a été appliquée aux indophénols.

Les indophénols sont des corps bien définis, cristallisés ; ils con-

tiennent dans leurs formules, les uns deux azotes tertiaires, les autres un azote tertiaire et un azote primaire.

On vérifie facilement que leurs solutions dans l'alcool, l'éther, le sulfure de carbone ont un coefficient d'absorption proportionnel à la concentration. Le minimum de transparence qui se trouve dans le jaune est donc invariable quand la concentration change. Il est donc inutile de faire des dissolutions de concentration connue, qui sont impossibles à obtenir pour divers indophénols, dont la quantité est trop faible pour permettre des pesées.

a) En recherchant l'influence du dissolvant sur la position du minimum de transparence, on vérifie que la loi de Kundt ne s'applique pas aux corps étudiés;

b) Une substitution en ortho dans le phénol, dont dérive l'indophénol, produit un déplacement considérable du minimum de transparence, quel que soit le dissolvant. Ce déplacement est dirigé du rouge vers le violet;

c) Une substitution en méta dans le phénol, dont dérive l'indophénol, produit un déplacement de minimum de transparence, toujours beaucoup plus faible que le précédent et très souvent négligeable. Il est dirigé tantôt vers le rouge, tantôt vers le violet.

d) Quand un azote tertiaire est remplacé par un azote primaire, le minimum de transparence se déplace toujours vers l'extrémité d plus réfrangible du spectre, quel que soit le dissolvant.

Électrisation négative des rayons secondaires issus de la transformation des rayons X (1);

Par MM. P. Curie et G. Sagnac.

Le faible pouvoir de pénétration des rayons secondaires des métaux lourds fait penser aux rayons cathodiques de Lenard, lesquels peuvent seulement parcourir quelques centimètres à peine dans l'air atmosphérique, où ils sont énergiquement diffusés. Cette analogie conduit à rechercher si les rayons secondaires, très absorbables par l'air, transportent avec eux des charges électriques négatives,

(1) Séance du 3 mai 1901.

puisque tel est le caractère fondamental des rayons cathodiques ; la déviation des rayons par le champ magnétique ([1]) ou par le champ électrique sera une conséquence probable de leur électrisation. Il n'y a pas de contradiction entre cette hypothèse et celles qui ont été développées par l'un de nous, puisque le faisceau émis spontanément par le *radium* de M. et de Mme Curie est un mélange de rayons électrisés négativement analogues aux rayons cathodiques, déviables par le champ magnétique et par le champ électrique, et de rayons non déviables analogues aux rayons X, sensiblement dépourvus de charges électriques.

Pour préciser d'abord jusqu'à quel point les rayons X se montrent dépourvus d'électrisation ([2]), nous employions une enceinte de Faraday en plomb épais de forme cubique, ayant 23 centimètres de côté, reliée à un électromètre à quadrants de Curie. Un large faisceau de rayons X y pénétrait par une ouverture circulaire de 10 centimètres de diamètre, placée à 7 centimètres seulement de la lame focus du tube producteur de rayons X.

L'enceinte de plomb, y compris son ouverture, était complètement enveloppée par une couche continue d'un *diélectrique solide* (paraffine ou ébonite), recouverte elle-même d'une enveloppe d'aluminium mince en communication avec la terre. *L'enveloppe continue de diélectrique solide est nécessaire pour maintenir l'isolement parfait* du cylindre, qui, sans cette précaution, ne demeurerait pas isolé dans l'air ambiant rendu conducteur de l'électricité par l'action des rayons de Röntgen.

Dans ces conditions, l'électromètre ne se chargeait pas sensiblement. Nous avons pu ainsi conclure qu'en admettant l'hypothèse de rayons X électrisés, le courant, équivalent à la circulation de l'électricité dans le faisceau large et intense de rayons X employé, était certainement inférieur à 10^{-12} ampère.

Nous avons pu, au contraire, conclure l'électrisation négative des rayons secondaires des métaux lourds. A la pression atmos-

---

([1]) P. Curie et G. Sagnac, *C. R.*, t. CXXX, p. 1013 ; 9 avril 1900.

([2]) Le professeur E. Dorn a annoncé que les rayons secondaires des métaux lourds sont déviés par le champ magnétique, et dans le même sens que les rayons cathodiques (*Abhand. d. Naturf. Gesell. zu Halle*, Bd. XXII, p. 40-42 ; 1900).
L'un de nous avait antérieurement émis l'opinion que *les rayons secondaires très absorbables des métaux lourds peuvent renfermer des rayons analogues à ceux de Lenard et déviables comme eux par l'aimant* [G. Sagnac, *Recherches sur les transformations des rayons de Röntgen*, ch. i, 3e paragraphe : *Rayons secondaires, rayons X et rayons de Lenard* (*l'Eclairage électrique* du 12 mars 1898].

phérique, les rayons X et les rayons secondaires communiquent à l'air une conductibilité telle que le métal rayonnant n'est plus isolé; il est alors impossible de recueillir l'électricité des rayons secondaires. Il fallait éviter en même temps que les rayons secondaires des métaux lourds, souvent très peu pénétrants, ne fussent absorbés au voisinage immédiat du métal qui les émet. Nous avons été ainsi amenés à placer les métaux dans l'air raréfié et à opérer à des pressions de plus en plus faibles, jusqu'au vide de Crookes ($0^{mm},001$ de mercure), afin de rendre à l'air ses propriétés isolantes, malgré l'action des rayons de Röntgen et des rayons secondaires qui le traversent. Nous avons réduit à 3 ou 4 millimètres seulement la couche d'air raréfié comprise entre le métal rayonnant et les parois métalliques voisines. Dans cette mince couche d'air très raréfié, la force électromotrice entre le métal rayonnant et les parois qui l'entourent produit seulement, sous l'influence des rayons, un courant inférieur, par exemple, à 1/100 du courant dû à l'électricité négative des rayons secondaires d'un métal, tel que le platine, le plomb. Le dispositif est celui-ci :

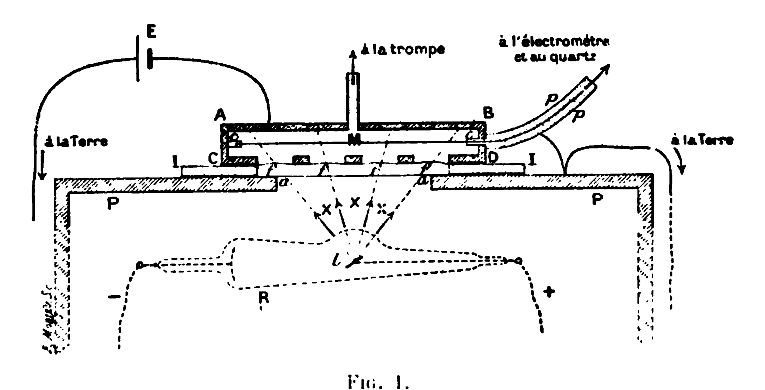


FIG. 1.

Une feuille métallique mince M (*fig.* 1), reliée à un électromètre à quadrants et à un quartz piézo-électrique de M. P. Curie, est maintenue isolée au milieu et à 3 millimètres seulement des parois d'une boîte métallique plate ABCD, qu'on peut mettre en relation avec la terre. La face inférieure CD de cette boîte est formée, comme la face supérieure AB, d'une plaque épaisse d'un autre métal N, mais percée de fenêtres *f* que recouvre une mince feuille du métal N. A 6 centimètres au-dessous de la face AB se trouve la lame focus *l*, source

des rayons de Röntgen. Le système producteur de ces rayons (tube focus R, bobine Ruhmkorff et interrupteur électrolytique de Wehnelt) est enfermé dans une grande caisse de plomb épais dont la paroi PP est mise à la terre. Les rayons de Röntgen sortent de la caisse PP par une ouverture circulaire de 10 centimètres de diamètre recouverte seulement d'une mince feuille d'aluminium *aa*. On peut faire le vide de Crookes dans la boîte étanche ABCD, reliée à la trompe à mercure.

Quand on opère à la pression atmosphérique, la conductibilité de l'air sous l'influence des rayons est considérable. Lorsque le métal M de la feuille intérieure est différent du métal N des fenêtres *f* et des faces internes de la boîte ABCD, le système (M | N) fonctionne comme une pile dont la force électromotrice fait dévier l'électromètre. On peut, par la méthode d'opposition du quartz piézo-électrique de M. J. Curie, mesurer le courant électrique nécessaire pour maintenir l'électromètre au potentiel zéro ; ou bien on peut, sans agir sur le quartz, ramener l'électromètre à demeurer au zéro en intercalant en E, entre la boîte ABCD et la terre, une force électromotrice convenable e_0 prise en dérivation sur le circuit d'un daniell.

Dans ces conditions, si l'on fait le vide dans l'appareil, l'équilibre de l'électromètre se maintient d'abord avec la même force électromotrice e_0 de compensation, tant que la pression ne s'est pas abaissée jusqu'à l'ordre de grandeur du millimètre (seulement, le courant qui prend naissance en l'absence de e_0 devient de plus en plus faible). Pour des pressions inférieures, la force électromotrice de compensation est modifiée. Elle dépasse bientôt celle d'un daniell, augmente constamment et semble croître au delà de toute limite à mesure qu'on se rapproche du vide de Crookes. Si l'on rétablit en E la force électromotrice primitive e_0 qui compensait le phénomène à la pression atmosphérique, on peut, à l'aide du quartz, mesurer le courant nécessaire pour maintenir l'électromètre au zéro. Ce courant, qui apparaît aux pressions de l'ordre du millimètre, augmente d'abord légèrement avec la raréfaction de l'atmosphère, puis devient sensiblement constant pour le vide de Crookes.

Si, par exemple, le métal intérieur M est du *platine* et si le métal N des parois internes de la boîte ABCD est de l'*aluminium*, il faut maintenir l'aluminium à un potentiel négatif (inférieur en valeur absolue à 1 daniell) pour obtenir la compensation à la pression atmosphérique.

Dans le vide de Crookes, cette force électromotrice n'est plus suffisante, et il faudrait porter l'aluminium à un potentiel négatif de valeur absolue égale à 30 volts environ, si l'on voulait obtenir la compensation. Si l'on maintient la force électromotrice e_0 qui compensait le phénomène à la pression atmosphérique, on constate que, dans le vide de Crookes, sous l'action des rayons de Röntgen, le platine se charge positivement. Le courant de charge, mesuré à l'aide du quartz, est de l'ordre de grandeur de 10^{-10} ampère quand on utilise, à travers les fenêtres *f* recouvertes d'aluminium mince, une surface d'environ 30 centimètres carrés placée à 6 centimètres de la source *l* des rayons de Röntgen.

Ce courant est assez faible pour qu'on puisse dire : Tant qu'on n'opère pas dans un gaz raréfié, les rayons secondaires provoquent la conductibilité des gaz en y libérant d'*égales* quantités d'électricité positive et négative. Mais, dans un gaz raréfié, l'on voit que l'influence des charges négatives des rayons secondaires apparaît ; alors les rayons X déchargent les corps négatifs plus rapidement que les corps positifs, ou même ils augmentent la charge des corps positifs. Il est

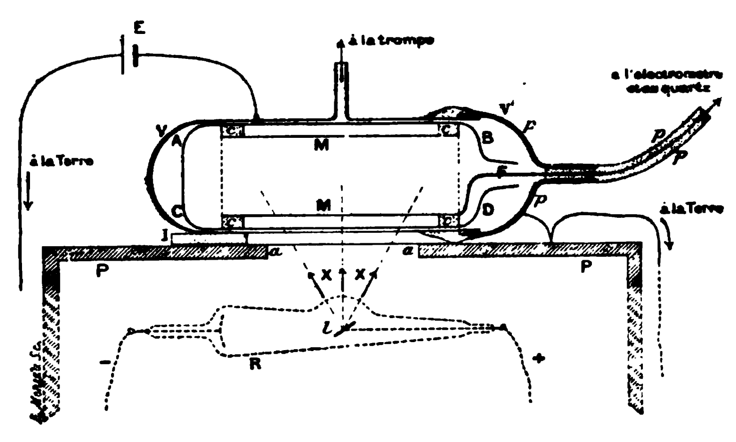


FIG. 2.

remarquable que cette dissymétrie de la décharge, produite *dans le vide* par les rayons de Röntgen qui frappent un métal lourd, est de même sens que la dissymétrie de la décharge des conducteurs frappés par les rayons ultra-violets de Hertz et de Hallwachs.

Des résultats peu différents sont obtenus à l'aide de la disposition

représentée par la *fig.* 2 : la feuille métallique mince M est alors enroulée en cylindre, et la boîte plate est remplacée par un second cylindre métallique ABCD de même axe que MM. On introduit le système MMABCD dans le récipient V de verre relié à la trompe à mercure, puis on ferme le récipient V avec le couvercle de verre V' mastiqué au golaz. Avec ce second dispositif, on évite les rentrées d'air plus facilement qu'avec le premier.

Ces faits pourraient, à la rigueur, s'expliquer par une variation continue de la force électromotrice de contact, qui croîtrait dans d'énormes proportions avec le degré de vide. Cette manière de voir est peu vraisemblable (1). On explique, au contraire, nettement les phénomènes en admettant que les rayons secondaires émis par les métaux en expérience emportent avec eux de l'électricité négative et libèrent, dans le métal, la quantité complémentaire d'électricité positive. Le platine transformant les rayons de Röntgen considérablement plus que l'aluminium, son émission d'électricité négative est de beaucoup plus considérable que l'émission opposée de l'aluminium, et le platine se charge positivement.

On peut renverser le phénomène en mettant l'aluminium en M à l'intérieur et le platine mince $\left(\frac{1}{100}\right.$ de millimètre$\left.\right)$ autour de M, en ABCD*f* (*fig.* 1) ou ABCD (*fig.* 2). On constate alors que l'aluminium intérieur M, soumis à l'émission secondaire du platine, recueille de l'électricité négative.

Nous avons fait varier la nature des métaux et constaté en particulier que le plomb et le platine sont parmi les métaux qui émettent le plus de charges négatives sous l'action des rayons X. Viennent ensuite l'étain et le zinc. Quant à l'aluminium, des expériences faites avec une enceinte de Faraday tapissée extérieurement d'aluminium et recevant des rayons de Röntgen semblent montrer que les rayons secondaires assez pénétrants de ce corps sont, comme les rayons de Röntgen générateurs, dont ils diffèrent peu, sensiblement dépourvus de charge électrique.

---

(1) On a démontré que, si l'on fait le vide de Crookes dans un récipient renfermant un condensateur dont les armatures sont formées de deux métaux M et N, la force électromotrice du couple MN n'en est pas altérée ; elle est même indépendante de la nature du gaz ambiant, raréfié ou non, tant que l'on ne chauffe pas les métaux M et N dans le vide de manière à en faire dégager les gaz inclus et à les remplacer par un autre gaz (Bottomley, *B.-A. Report*, 1885 ; Spiers, *Phil. Mag.*, t. XLIX, particulièrement p. 70, janvier 1900).

L'intensité des charges électriques négatives des rayons secondaires du métal M, étudiées avec la disposition de la *fig.* 2, ne s'affaiblit pas considérablement lorsqu'on compare un appareil dont l'enveloppe de verre V est relativement mince (1 millimètre) à un autre où elle est plus épaisse (3 millimètres). Avec le dispositif de la *fig.* 1, les rayons X pénétrant dans la boîte ABCD par les fenêtres à travers une feuille d'aluminium d'épaisseur de $\frac{1}{10}$ de millimètre, l'interposition d'une glace de verre de 5 millimètres sur le trajet des rayons de Röntgen affaiblit le phénomène, mais en le laissant comparable à ce qu'il était d'abord ; l'interposition d'une lame d'aluminium d'un demi-millimètre sur le trajet des rayons de Röntgen réduit à peine $\left(\text{de moins de } \frac{1}{100}\right)$ l'électrisation négative des rayons secondaires du platine. Les charges négatives des rayons secondaires proviennent donc surtout de l'action exercée sur le métal M par les rayons X les plus pénétrants du faisceau incident. Ce fait est analogue à celui qui a été signalé à propos de l'activité électrique des rayons secondaires [1], mais il est ici encore bien plus marqué.

Le rapprochement précédent est en accord avec celui que l'on peut faire au sujet du pouvoir de pénétration des charges négatives lancées par le métal M. Quand, au lieu d'opérer dans le vide, nous avons opéré en plongeant le condensateur MN dans un diélectrique tel que la paraffine, l'ébonite, le phénomène de l'émission d'électricité négative de M en N disparaissait sensiblement. Dans le cas seulement où M et N n'étaient séparés que par une fraction de millimètre de paraffine, l'électromètre accusait encore une faible charge correspondant à des courants de l'ordre de 10^{-12} ampère ; les variations de ces faibles courants avec la nature des métaux M et N s'accordaient à faire penser qu'ils étaient dus à l'émission par les métaux lourds de charges négatives rapidement absorbées par la paraffine au voisinage du métal.

Une expérience directe a d'ailleurs montré le faible pouvoir de transmission [2] de l'émission électrique du plomb, par exemple : une

---

(1) G. Sagnac, *De l'optique des rayons de Röntgen et des rayons secondaires qui en dérivent.* Paris, Gauthier-Villars, 1900, p. 105 et 132.

(2) La transmission étudiée ici peut avoir lieu en partie ou en totalité par diffusion postérieure ; la même remarque s'applique d'ailleurs à la transmission de l'action électrique de décharge ou de l'action radiographique des rayons secondaires des métaux lourds, telle qu'elle a été, dans certains cas, étudiée par l'un de nous (G. Sagnac, *loc. cit.*, p. 89 et 94).

moitié longitudinale du cylindre de plomb épais MM (*fig.* 2) est recouverte d'une feuille d'aluminium battu, dont l'épaisseur, calculée d'après la surface, le poids et la densité 2,7, est de 0,46 micron. Les rayons X frappant le côté nu du cylindre, on observe, à la pression $0^{mm},001$ de mercure, un courant de l'ordre de 10^{-10} ampère dû au bombardement d'électricité négative issue du plomb nu MM; c'est-à-dire que le plomb MM se charge de la quantité complémentaire d'électricité positive, et il faut, pour le maintenir au potentiel zéro pendant $32^s,2$, disposer sur le plateau du quartz piézo-électrique une masse de 500 grammes en l'abandonnant progressivement à l'action de son poids. L'appareil VV' une fois retourné de 180° autour de son axe, de manière que les rayons X frappent maintenant la face de plomb recouverte d'aluminium battu, l'émission d'électricité négative par le plomb à travers cette feuille d'aluminium correspond à un poids de 500 grammes pour $53^s,5$, c'est-à-dire n'est plus que les $\frac{3}{5}$ de celle du plomb nu. Ce coefficient de transmission des charges électriques est assez peu différent de celui que présenteraient les rayons cathodiques extérieurs à un tube à vide dans les expériences de Lenard. Il est aussi comparable à celui de l'action électrique de décharge des rayons secondaires, déjà étudié, et à celui de l'action radiographique [1].

Il importe de remarquer que les mesures des courants d'électricité négative issue des métaux lourds frappés par les rayons X ont, pour des conditions expérimentales données, un sens absolu ; la quantité d'électricité transportée par les rayons secondaires est, dans un vide suffisamment poussé, indépendante de la distance parcourue par les rayons secondaires ; au contraire, on sait que les intensités des actions électriques radiographiques ou radioscopiques des rayons secondaires et aussi des rayons X, dépendent du mode d'utilisation des rayons et. en particulier, de l'épaisseur d'air du condensateur électrique et de la couche photographique ou luminescente qui les reçoit [2]. Il ne paraît, d'ailleurs, y avoir aucun lien simple entre l'énergie des rayons secondaires, telle qu'on pourrait la mesurer au moyen d'un bolomètre fondé sur l'échauffement d'un métal par ces rayons, et la quantité d'électricité négative qu'ils transportent.

---

(1) G. Sagnac, *loc. cit.*, p. 94.
(2) G. Sagnac, *loc. cit.*, p. 131.

L'ensemble des faits observés conduit à penser que l'*émission électrique secondaire* des métaux lourds possède des propriétés analogues à celles des rayons cathodiques et des rayons déviables du radium : les particules d'électricité négative, des rayons sont capables de dissocier l'électricité neutre des particules des gaz en quantités d'électricités positive et négative considérablement supérieures à la quantité d'électricité négative des rayons, tant du moins que le gaz étudié n'est pas trop raréfié. Il ne faut pas confondre la production de ces rayons cathodiques, qui, dans le vide et même en l'absence de tout champ électrique, émanent du métal M frappé par les rayons X, avec la production déjà signalée par l'un de nous (¹) d'un flux d'électricité soit positive, soit négative, dans un gaz soumis au champ électrique.

L'action des rayons X et des rayons secondaires sur les gaz n'est pas essentiellement différente de l'action des rayons ultra-violets étudiés par Lenard (²). D'autre part, l'émission des rayons cathodiques par un métal lourd que frappent les rayons X n'est pas plus étrange que le phénomène analogue produit par les rayons ultra-violets : le professeur Righi (³) et, plus récemment, le professeur P. Lenard (⁴), les professeurs E. Meritt et O.-M. Stewart (⁵), ont en effet trouvé qu'un métal frappé par les rayons ultra-violets émet un flux d'électricité négative, même lorsque la surface métallique frappée par les rayons n'est pas électrisée. Cette émission a les caractères de rayons cathodiques particulièrement absorbables et l'étude n'a pu en être faite par le professeur Lenard que dans le vide de Crookes.

L'électrisation négative des rayons secondaires fournit donc une analogie nouvelle entre les rayons X et les rayons ultra-violets. Il devient alors de plus en plus probable qu'il y a, dans les rayons secondaires, des rayons non électrisés de l'espèce même des rayons X incidents qui les produisent en se diffusant ou se transformant.

(¹) Sagnac, *C. R.* du 5 février 1900 et l'article précédent : *Nouvelles recherches sur les rayons de Röntgen*, § 5 et 6 ; — *J. de phys.*, 3 sér., t. X, p. 677 et 680 ; 1901.

(²) Cf. *loc. cit.*, § 7. *J. de phys.*, 3ᵉ série, t. X, p. 683.

(³) A. Righi, *Atti d. R. Acc. d. Lincei*, p. 81, 1900.

(⁴) P. Lenard, *Erzeugung von Kathodenstrahlen durch ultra-violettes Licht Drude's Annalen d. Physik*, t. II, p. 359-370 ; 1900 . Cette émission d'électricité négative permet au professeur Lenard d'expliquer la déperdition d'électricité négative sous l'action des rayons ultra-violets.

(⁵) E. Meritt, O.-M. Stewart, *The development of Kathode Rays by ultraviols light* (*The Physical Review*, octobre 1900, p. 229).

Sur un galvanomètre parfaitement astatique [1];

Par M. G. Lippmann.

Cet appareil se compose essentiellement d'une bobine fixe, parcourue par le courant à mesurer, et d'une aiguille aimantée mobile, suspendue de manière à pouvoir se déplacer *parallèlement à elle-même*. L'aiguille est portée par un fil de cocon f, qui lui permet de s'orienter dans le plan du méridien magnétique; ce fil de cocon est attaché à l'extrémité d'un fléau d'une petite balance de torsion constituée par un levier LL, porté lui-même par un fil f'. Un pôle de l'aiguille aimantée pénètre dans la bobine fixe; le courant agit donc non pour dévier l'aiguille, qui reste orientée vers le nord magnétique, mais pour la déplacer parallèlement à elle-même. Or, l'action de la terre ne tend pas à déplacer un aimant parallèlement à lui-même. Il s'ensuit que la terre n'exerce aucune force antagoniste de celle produite par le courant; l'appareil est donc parfaitement astatique.

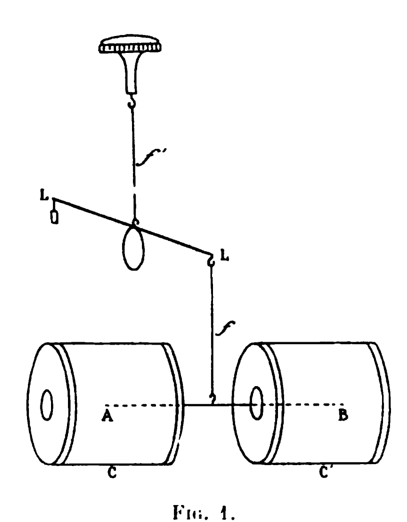


Fig. 1.

Il est avantageux d'employer deux bobines C, C', agissant chacune sur un des pôles de l'aiguille. Pour installer le galvanomètre, il faut

[1] Séance du 18 mai 1901.

l'orienter de manière que l'axe des bobines soit dans le plan du méridien magnétique. L'aiguille aimantée est alors dirigée suivant cet axe. Il faut, en outre, que, aucun courant ne passant par l'appareil, le levier de paille s'arrête dans la direction est-ouest. On satisfait à cette condition en faisant tourner un tambour auquel est fixé le fil f', afin de le détordre. Le galvanomètre est alors prêt à fonctionner.

La sensibilité de l'appareil est très grande, car elle n'est limitée que par le petit couple naissant de la torsion des fils de cocon qui le soutiennent. Il est facile d'écrire la condition de l'équilibre : Soient i l'intensité du courant, K une constante dépendant de la construction des bobines, μ le magnétisme accumulé à chaque pôle. La force due à l'action du courant est égale à $K\mu i$. Cette force agit sur un bras de levier égal à L, en désignant par L la distance entre les fils f et f' ; lorsque la déviation de la paille est α, ce bras de levier est égal à $L\cos\alpha$. L'angle α demeurant très petit, on peut admettre que $\cos\alpha = 1$. Le couple dû à l'action du courant est donc égal à $K\mu i L$.

D'autre part, la déviation étant α, la torsion des cocons f et f' varie d'un angle α ; les couples résultant de cette torsion sont égaux à $\frac{C\alpha}{h}$ et $\frac{C\alpha}{h'}$. On a donc pour condition d'équilibre

$$K\mu L i = C\alpha\left(\frac{1}{h} + \frac{1}{h'}\right). \tag{1}$$

Supposons, pour simplifier (¹), que $h = h'$.

L'équation (1) peut s'écrire :

$$\alpha = \frac{K\mu L h}{C}\, i. \tag{2}$$

La sensibilité de l'appareil tient d'abord à l'absence de toute force directrice due à la terre. En outre, on peut l'augmenter en disposant des facteurs μ et L ; en d'autres termes, il est avantageux d'accroître μ en employant une aiguille fortement aimantée, et aussi grosse que le permet la résistance à la rupture du fil de suspension ; de même, on peut disposer du facteur L en allongeant le levier de paille.

Le maniement de l'appareil paraît assez facile ; l'amortissement

(¹) Cette condition est, d'ailleurs, celle qui correspond au maximum de sensibilité, car $h + h'$ a une valeur maxima déterminée par la hauteur de la potence, donc $\frac{1}{h} + \frac{1}{h'}$ est minimum pour $h = h'$.

propre est très considérable. Je rappellerai que A.-C. Becquerel a construit jadis une balance électromagnétique formée de deux aimants suspendus à une balance ordinaire et attirés par deux bobines. Le principe est le même que celui de l'appareil décrit plus haut ; mais la substitution de la balance à torsion à la balance ordinaire augmente considérablement la sensibilité de l'appareil. Plus tard, le même auteur a construit un galvanomètre muni de deux aiguilles antagonistes et *collées* aux extrémités d'un levier horizontal formant balancier de torsion. L'astasie est produite par l'antagonisme des deux aiguilles, et le principe de l'appareil est donc celui du galvanomètre de Nobili. Il n'en est pas de même du galvanomètre construit par M. d'Arsonval et sur lequel l'auteur a bien voulu attirer mon attention [1] : une aiguille aimantée est portée par un pivot fixé à l'extrémité d'un levier horizontal. Ici, l'astasie est bien due à ce que, théoriquement, l'aiguille se déplace parallèlement à elle-même. Pratiquement, le frottement du pivot intervient pour limiter la sensibilité.

Sur un phénomène d'oscillation électrique [2] ;

Par M. H. Pellat.

L'expérience que je vais décrire paraît assez surprenante au premier abord; mais elle s'explique très aisément par la considération des oscillations électriques.

Deux condensateurs de capacité très inégale, par exemple une batterie de six grandes jarres et une petite bouteille de Leyde, ont leurs armatures respectivement réunies. Sur le trajet des communications se trouve un inverseur qui permet d'alterner ces communications : si les condensateurs ont été chargés dans une première position de l'inverseur, le jeu de celui-ci fera communiquer l'armature positive du petit condensateur avec l'armature négative du grand, et *vice versa*. Cet inverseur a ses parties métalliques montées sur des colonnes d'ébonite, pour permettre l'emploi de grandes différences de poten-

(1) *Lumière électrique*, 1885.
(2) Séance du 7 juin 1901.

tiel. Près du petit condensateur se trouvent deux tiges de décharge, entre lesquelles l'étincelle éclate quand la différence de potentiel devient suffisante.

Si l'on vient à charger les condensateurs de façon à avoir la moitié seulement de la différence de potentiel qui correspond à l'explosion entre les tiges de décharge, ou même un peu moins, et qu'on vienne alors à alterner les communications en faisant jouer l'inverseur, l'étincelle éclate toujours. Or remarquons que, si l'étincelle n'éclatait pas, quand l'équilibre serait rétabli, la différence de potentiel serait moindre qu'avant l'inversion, puisque les armatures du grand condensateur se seraient partiellement déchargées. Ainsi une cause qui, dans l'état d'équilibre, diminue la différence de potentiel, surélève cette différence pendant la rupture de l'équilibre. On voit immédiatement que ce phénomène doit être dû aux oscillations électriques qui se produisent au moment de l'inversion : c'est ce que met en évidence le calcul suivant.

Prenons deux points A_1 et A_2 sur l'un et l'autre des conducteurs qui réunissent les armatures (*fig.* 1); désignons par l_1, l_2, r_1 et r_2 les coefficients de self-induction et les résistances des portions de conduc-

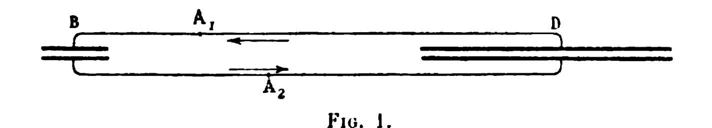


Fig. 1.

teurs comprises entre A_1 ou A_2 et le petit condensateur B, par c la capacité de celui-ci, par C celle du grand condensateur D; soient, à un moment t quelconque de l'oscillation, W_1 et W_2 les potentiels de A_1 et de A_2, V_1 et V_2 ceux des armatures correspondantes du petit condensateur et I l'intensité du courant, que je suppose la même au même instant en chaque point des fils de communication. Cette approximation est légitime si la capacité de ces fils est négligeable devant c et si la longueur d'onde est grande vis-à-vis de la longueur des fils, ce qui était le cas de mes expériences. On a alors :

$$l_1 \frac{\partial I}{\partial t} + r_1 I = W_1 - V_1,$$

$$l_2 \frac{\partial I}{\partial t} + r_2 I = V_2 - W_2.$$

En additionnant membre à membre ces deux relations et posant

$$l_1 + l_2 = l, \quad r_1 + r_2 = r, \quad W_1 - W_2 = W \quad \text{et} \quad V_1 - V_2 = V,$$

il vient :

$$(1) \qquad l \frac{\partial I}{\partial t} + rI = W - V.$$

Appliquons la formule (1) au cas où les points A_1 et A_2 sont les extrémités des fils du côté du grand condensateur D. En désignant par V′ la différence de potentiel des armatures de celui-ci, c'est-à-dire ce que devient W, et par L et R ce que deviennent l et r, c'est-à-dire la self-induction et la résistance totale des fils de communication, il vient :

$$(2) \qquad L \frac{\partial I}{\partial t} + RI = V' - V.$$

Or on a :

$$(3) \qquad I = c \frac{\partial V}{\partial t} \qquad \text{et} \qquad I = - C \frac{\partial V'}{\partial t}.$$

En remplaçant I successivement par ces deux valeurs dans la relation (2), il vient :

$$(4) \qquad Lc \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} + Rc \frac{\partial V}{\partial t} = V' - V$$

$$- LC \frac{\partial^2 V'}{\partial t^2} - RC \frac{\partial V'}{\partial t} = V' - V.$$

Multiplions la première de ces relations par C, et la seconde par c et ajoutons membre à membre ; il vient, en posant :

$$(5) \qquad U = V - V'$$

$$(6) \qquad LCc \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} + RCc \frac{\partial U}{\partial t} + (C + c) U = 0.$$

Des relations (3) on tire en outre :

$$(7) \qquad I = \frac{Cc}{C + c} \frac{\partial U}{\partial t}.$$

L'équation (6) à coefficients constants s'intègre par la règle connue. Pour déterminer les constantes, remarquons qu'en prenant pour temps zéro celui où l'inversion vient d'être faite, on a $I = 0$ et $U = 2V_0$, en appelant V_0 la différence de potentiel des armatures avant l'inversion.

En posant :

(8) $$\omega = \sqrt{\frac{C + c}{LCc} - \frac{R^2}{4L^2}} \qquad \text{et} \qquad \alpha = \frac{R}{2L}$$

$$H = \sqrt{\omega^2 + \alpha^2}, \qquad \cos\varphi = \frac{\omega}{H}, \qquad \sin\varphi = \frac{\alpha}{H}.$$

il vient, tout calcul fait :

(9) $$U = 2V_0 \frac{H}{\omega} e^{-\alpha t} \cos(\omega t - \varphi).$$

La comparaison de la première des relations (3) et de la relation (7) donne :

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{C}{C + c} \frac{\partial U}{\partial t},$$

d'où, par intégration, en nous rappelant que, pour $t = o$, on a

$$V = V_6 \qquad \text{et} \qquad U = 2V_0,$$

$$V - V_0 = \frac{C}{C + c} (U - 2V_0),$$

ou, en remplaçant U par sa valeur :

(10) $$\frac{V}{V_0} = \frac{c - C}{C + c} + \frac{2C}{C + c} \frac{H}{\omega} e^{-\alpha t} \cos(\omega t - \varphi).$$

Dans les conditions ordinaires, par exemple celles où se trouvaient mes expériences, α est négligeable devant ω (dans mes expériences, ω était environ 3000 fois α); il en résulte une notable simplification des formules. La relation (10) se réduit à

(11) $$\frac{V}{V_0} = \frac{c - C}{C + c} + \frac{2C}{C + c} e^{-\alpha t} \cos \omega t.$$

Au même degré d'approximation, le maximum de la valeur absolue de V a lieu pour $\omega t = \pi$; comme, pour cette valeur de t, l'exponentielle $e^{-\alpha t}$ est sensiblement égale à l'unité, on a pour la valeur V_m du maximum :

(12) $$\frac{-V_m}{V_0} = \frac{3C - c}{C + c}.$$

On voit qu'à la limite, quand C est infini vis-à-vis de c, la valeur absolue du maximum de la différence de potentiel entre les armatures du petit condensateur est trois fois la différence de potentiel avant l'inversion. On s'explique dès lors aisément l'étincelle qui se

produit entre les tiges de décharge placées près du petit condensateur au moment de l'inversion.

La relation (1) donne la valeur W de la différence de potentiel entre deux points A_1 et A_2 des fils de communication, d'après les relations (10), (7) et (9). On trouve, en faisant les mêmes approximations que ci-dessus :

$$(13) \qquad \frac{W}{V_0} = \frac{c - C}{C + c} + \frac{2C}{C + c} e^{-\alpha t} \left(1 - \frac{l}{L} \frac{C + c}{C}\right) \cos \omega t;$$

la valeur absolue du maximum est encore obtenue pour $\omega t = \pi$, et ce maximum W_m est donné par

$$(14) \qquad \frac{W_m}{V_0} = \frac{c - C}{C + c} - \frac{2C}{C + c} \left(1 - \frac{l}{L} \frac{C + c}{C}\right).$$

Si les deux fils de communication sont parallèles, et si les points A_1 et A_2 sont en face l'un de l'autre, le rapport $\frac{l}{L}$ est sensiblement le même que celui de la distance de ces points au petit condensateur à la longueur totale des fils. On voit par la relation (13) que si :

$$(15) \qquad \frac{l}{L} = \frac{C}{C + c},$$

la différence de potentiel de ces deux points reste invariable pendant l'oscillation et que, au même moment, la variation est de sens inverse de part et d'autre de ces points ; il y a un nœud en cet endroit.

Si les capacités C et c sont égales, le nœud est au milieu de la distance des deux condensateurs ; si les capacités sont inégales, on voit d'après (15) que le nœud se rapproche d'autant plus du grand condensateur que le rapport des capacités est plus grand.

J'ai vérifié quantitativement par expérience la relation (12), qui donne le rapport de la différence de potentiel maximum des armatures du petit condensateur à la différence de potentiel avant l'inversion.

Pour cela, j'ai placé les tiges de décharge aussi près que possible du petit condensateur. En mesurant les différences de potentiel avec un électromètre Bichat et Blondlot, j'ai cherché : 1° quelle était la différence de potentiel explosive (V_1) sans faire jouer le commutateur ; 2° quelle était la plus petite différence de potentiel (V_2) qui, après inversion, amenait l'explosion. Le résultat de ces expé-

riences a été que le rapport de V_1 à V_2 était 2,34. Ce rapport représente, aux erreurs d'expérience près, et en confondant les différences de potentiel explosives statiques et dynamiques, le rapport donné par la relation (12).

D'autre part, le rapport des deux capacités (batterie de six grandes jarres et petite bouteille de Leyde) a été mesuré par le rapport des déviations galvanométriques que donnaient ces deux capacités chargées avec une même pile (50 éléments Leclanché). Pour rendre les déviations plus comparables, on shuntait le galvanomètre lors de la décharge fournie par le grand condensateur. J'ai trouvé ainsi, pour rapport des deux capacités, le nombre 27, ce qui, d'après la formule (12), donne 2,86 pour la valeur absolue du rapport $\frac{V_m}{V_0}$. La différence entre le nombre observé et le nombre calculé n'atteint pas $\frac{1}{6}$; la concordance paraîtra satisfaisante, si l'on songe aux irrégularités des expériences sur le potentiel explosif.

L'expérience que je viens de décrire, qui se monte et s'exécute avec la plus grande facilité, me paraît excellente pour montrer dans un cours, d'une façon frappante, l'existence des oscillations électriques. Elle est bonne à connaître en elle-même pour éviter les accidents que peut causer, au moment de l'inversion, la surélévation de la différence de potentiel, tels que la rupture du diélectrique du petit condensateur.

Sur une propriété des gaz monoatomiques (1);

Par M. Daniel BERTHELOT.

Clausius a déduit des principes fondamentaux de la théorie cinétique des gaz que le rapport des deux chaleurs spécifiques d'un gaz parfait est égal à 1,67. Cette conclusion parut d'abord contredite par l'expérience, ce rapport offrant, pour les gaz examinés jusque-là, des valeurs notablement plus basses, telles que la valeur 1,41 pour l'air et la plupart des gaz à molécule diatomique. Pour les gaz à

(1) Séance du 7 juin 1901.

molécule plus complexe, tels que l'éther, le rapport descend jusqu'à 1,1 environ.

Ce désaccord a été expliqué en remarquant que la théorie de Clausius assimilait les molécules à des points matériels et négligeait l'énergie des atomes dans leurs mouvements autour du centre de gravité de la molécule. Une telle supposition n'est légitime que pour les gaz à molécule monoatomique. Or, de l'étude des propriétés chimiques et des densités de vapeur du mercure et de ses composés, les chimistes ont précisément conclu que la molécule de ce corps à l'état de vapeur est monoatomique. Et, en effet, en mesurant le rapport des chaleurs spécifiques de cette vapeur, on a observé la valeur 1,67, en sorte que la théorie de Clausius s'est trouvée vérifiée.

Depuis, MM. Rayleigh et Ramsay, ayant retrouvé ce nombre pour l'argon et divers autres gaz de l'air, en ont conclu qu'ils étaient monoatomiques.

D'autre part, M. Van der Waals, en s'appuyant sur les hypothèses cinétiques, a établi, pour l'ensemble de l'état fluide, l'équation connue $(p + a : v^2)(v - b) = RT$.

Cette équation représente fort bien les faits au point de vue qualitatif ; mais elle n'offre avec eux qu'un accord quantitatif imparfait. La divergence la plus considérable qui ait été signalée jusqu'ici porte sur la valeur de la densité critique. L'équation indique en effet que l'expression $RT_c : p_c v_c$, qui représente le rapport du volume théorique du fluide à son volume réel, au point critique, est égale à 2,67, tandis que voici les valeurs données par l'expérience pour quelques corps (¹) :

Octane.	Heptane.	Ether.	Pentane.	Benzine.	Tétrachlorure de carbone.	Anhydride carbonique.	Azote.	Oxygène.
3,86	3,85	3,81	3,76	3,75	3,67	3,61	3,53	3,49

Ce rapport est donc toujours supérieur à 2,67. Il augmente en général avec le nombre des atomes de la molécule, et est voisin en moyenne de 3,7. Aussi a-t-on cherché fréquemment à modifier l'équation de Van der Waals de manière à obtenir une meilleure valeur de la den-

(¹) Voir pour la plupart de ces corps : Sydney Young, *On the law of Cailletet and Mathias and the critical Density* (*Philos. Magaz.*, septembre 1900). — Pour l'azote et l'oxygène, j'ai calculé le rapport en admettant les densités critiques qui résultent de la discussion de M. Mathias (*Mém. de la Soc. roy. des Sciences de Liège*, 3ᵉ série, 1899 ; — et *J. de Phys.*, 3ᵉ série, t. VIII, p. 407, 1899).

sité critique. La modification de Clausius est la première et la plus connue de ces tentatives; elle a été suivie de beaucoup d'autres, inspirées également de vues empiriques; mais il est hors de doute, quand on envisage dans son ensemble le problème de la compressibilité et de la dilatation des fluides, qu'aucune de ces modifications n'a été heureuse, et que la formule de Van der Waals demeure encore aujourd'hui non seulement la plus simple, mais encore la meilleure [1].

Les mesures récentes faites sur les gaz monoatomiques viennent d'apporter à la formule de Van der Waals, sur le point même où elle semblait le plus s'écarter des faits, une confirmation qui me paraît valoir la peine d'être signalée.

Il est essentiel de noter que les raisonnements de Van der Waals, comme ceux de Clausius, supposent les molécules monoatomiques, car, dans le cas contraire, le covolume b ne peut plus être regardé comme constant.

Or, parmi les gaz monoatomiques, il n'en est qu'un seul dont les constantes critiques soient déterminées aujourd'hui avec assez de précision pour se prêter à une vérification numérique : c'est l'argon.

D'après les mesures de MM. Ramsay et Travers [2], on a $p_c = 52^{atm},8$, $T_c = 155^o,6$ abs. La densité liquide est $d = 1,212$ à $T = 87^o$ abs. La densité critique n'a pas été mesurée directement; mais on sait que c'est le cas général, et que le seul mode de détermination exact de cette quantité [3] est celui qui consiste à la calculer comme la limite commune des densités du liquide et de la vapeur saturée, quand on tend vers le point critique, au moyen de la formule de M. Mathias : $d_c = d : 2\,[1 + a\,(1 - T : T_c)]$. Pour déterminer exactement la grandeur a de cette formule, il faudrait au moins deux densités liquides; mais M. Mathias a montré qu'elle est peu variable et oscille entre 1 et 0,8, suivant le plus ou moins de complexité des corps. La valeur moyenne 0,9 donne, pour l'argon, $d_c = 0,434$ et $RT_c : p_c v_c = 2,62$. Si l'on avait pris la valeur 0,8 qu'on rencontre pour les gaz les plus simples, on aurait eu $d_c = 0,448$ et $RT_c : p_c v_c = 2,71$.

---

(1) Voir notamment, sur ce point, D. Berthelot, *Quelques remarques sur l'équation caractéristique des fluides* (*Archives néerlandaises*, 2e série, t. V, 1900 : livre jubilaire dédié au Prof. Lorentz).

(2) *Chemical News*, décembre 1900.

(3) Cf. Mathias, *les Méthodes de détermination des constantes critiques* (*Rapports au Congrès international de Physique de Paris en* 1900, t. I, p. 615).

On voit donc non seulement que ce rapport est très inférieur à celui qui caractérise les gaz polyatomiques, mais encore qu'il paraît fort voisin de la valeur 2,67 indiquée par la théorie de Van der Waals.

Il semble que l'on doive conclure de là que cette formule est plus exacte, numériquement, qu'on ne l'a cru généralement jusqu'ici et qu'elle représente effectivement la compressibilité isotherme d'un gaz monoatomique.

S'il en est ainsi, il convient, pour expliquer les écarts constatés dans le cas des gaz polyatomiques, de modifier non pas le terme $a : v^2$ qui représente la pression interne et qui ne dépend pas de l'atomicité de la molécule, mais bien le covolume b, en évaluant l'influence que le nombre et les mouvements des atomes de la molécule exercent sur la grandeur de ce terme. La formule établie devra d'ailleurs permettre de calculer aussi bien le rapport des chaleurs spécifiques que la valeur exacte de la densité critique. C'est précisément la recherche d'une formule de ce genre que M. Van der Waals vient d'aborder avec sa profondeur habituelle dans un mémoire (¹) qui constitue une contribution des plus importantes à la théorie cinétique des fluides.

Réseaux moléculaires et dispersion (²);

Par M. Carvallo.

1. *Introduction.* — Au Congrès international des méthodes d'essai des matériaux de construction, en 1900, M. Ricour a communiqué une étude sur la constitution moléculaire des corps. On y trouve une théorie de la dispersion des couleurs qui a été exposée par de Sénarmont, vers 1860, dans son cours à l'École Polytechnique. L'auteur prête à l'éther lumineux une constitution périodique, calquée sur le réseau moléculaire. Mais, au lieu d'établir avec Briot une équation aux dérivées partielles ordinaire, linéaire, à coefficients périodiques, il forme une équation aux différences finies. L'équation

(¹) Académie des Sciences d'Amsterdam : *The equation of state and the theory of cyclic motion*, février, mars, avril 1901.

(²) Séance du 21 juin 1901.

conduit à une formule de dispersion à deux coefficients seulement, que M. Ricour applique avec quelque succès aux observations de M. Mascart sur le quartz, raies A à P du spectre solaire. Il m'a paru intéressant de la soumettre à un contrôle plus étendu en l'appliquant à mes observations sur l'infra-rouge ([1]) et à celles de M. Sarazin sur l'ultra-violet ([2]). Dans ces régions, l'écart devient inacceptable. Cela vient-il d'un choix défectueux des constantes ? Non, car je mets la formule sous une forme telle que tous les corps devraient avoir des courbes de dispersion superposables à une courbe type, par deux translations parallèles aux axes de coordonnées. Un graphique rend ce critérium inutile.

2. *Théorie.* — Soit un système d'ondes planes, normales à l'axe Ox, et Δx la période du milieu dans le sens Ox. Par des plans parallèles à l'onde et distants de Δx, je partage le milieu en concamérations identiques. Soient (*fig.* 1) $p-1$, p, $p+1$, les rangs de trois tranches

p-1 p p+1

Fig. 1.

consécutives; u_{p-1}, u_p, u_{p+1}, les élongations moyennes de ces tranches. La tranche p reçoit de la tranche $p+1$ une réaction proportionnelle à la déformation $u_{p+1} - u_p = \Delta u_p$. Elle reçoit de la tranche $p-1$ une réaction de sens contraire proportionnelle à $u_p - u_{p-1} = \Delta u_{p-1}$. La résultante est proportionnelle à la différence $\Delta u_p - \Delta u_{p-1} = \Delta^2 u_{p-1}$. Elle est équilibrée par la force d'inertie, proportionnelle à $\frac{d^2 u_p}{dt^2}$. L'équation du mouvement peut donc s'écrire, en mettant sous la forme $\frac{a^2}{\Delta x^2}$ une constante caractéristique du milieu :

$$\frac{d^2 u_p}{dt^2} = a^2 \frac{\Delta^2 u_{p-1}}{\Delta x^2}. \tag{1}$$

Si la constitution du milieu, au lieu d'être périodique, était uniforme, on pourrait faire tendre Δx vers zéro, et l'équation (1) donne-

([1]) *C. R.*, t. CXXVIII, p. 728; 1898.
([2]) *C. R.*, t. LXXXV, p. 1230.

rait à la limite l'équation classique :

$$\frac{d^2u}{dt^2} = a^2\,\frac{d^2u}{dx^2}.$$

L'équation (1), aux différences finies, admet des solutions de la forme :

$$(2) \qquad u_p = \mathrm{A}\cos 2\pi\left(\frac{t}{\mathrm{T}} - \frac{p\Delta x}{l}\right).$$

L'expression (2) représente une vibration de période T et de longueurs d'onde l, car $p\Delta x$ représente l'abscisse x de la tranche p. Elle satisfait bien à l'équation (1), pourvu que les paramètres l et T soient liés par la relation :

$$\frac{\pi^2}{\mathrm{T}^2} = \frac{a^2}{\Delta x^2}\sin^2\frac{\pi\Delta x}{l}.$$

Pour mettre cette relation sous la forme ordinaire d'une formule de dispersion entre l'indice de réfraction n et la longueur d'onde dans le vide λ, je remplace l par sa valeur $\frac{\lambda}{n}$, puis T par sa valeur $\frac{\lambda}{\mathrm{V}}$ (V, vitesse de la lumière dans le vide).

J'obtiens ainsi :

$$\frac{\pi^2\mathrm{V}^2}{\lambda^2} = \frac{a^2}{\Delta x^2}\sin^2 n\,\frac{\pi\Delta x}{\lambda}.$$

Cette formule s'écrit, en extrayant les racines carrées des deux membres :

$$(3) \qquad \lambda \sin h\,\frac{n}{\lambda} = k, \qquad \left\{\begin{array}{l} h = \pi\Delta x, \\ k = \dfrac{\pi \mathrm{V} \,.\, \Delta x}{a} \end{array}\right.$$

Telle est la formule de de Sénarmont, très analogue à celle de Baden-Powell [1]. M. Ricour l'applique au quartz entre les longueurs d'onde $768^{\mu\mu},40$ et $336^{\mu\mu},02$. En adoptant pour la période moléculaire $\Delta x = 25^{\mu\mu},233$, il trouve, pour $\lambda \sin h\,\frac{n}{\lambda}$, un nombre assez constant dont le logarithme varie seulement de 2,0845 à 2,0847.

3. *Insuffisance de la formule : nouvelle méthode de comparaison.* — En étendant la formule à l'intervalle des longueurs d'ondes compris

---

(1) $\frac{1}{n} = \mathrm{C}\sin\frac{\mathrm{D}}{\lambda}$. Voir Beer, *Introduction à la haute optique*, 1858.

entre 2171$^{\mu\mu}$,19 et 202$^{\mu\mu}$,46, je trouve une variation tout à fait inadmissible de la prétendue constante, savoir 2,0802 à 2,0850. Les écarts ont d'ailleurs une allure systématique. Viennent-ils d'un choix défectueux des deux constantes de la formule (3) ? Voici l'artifice que

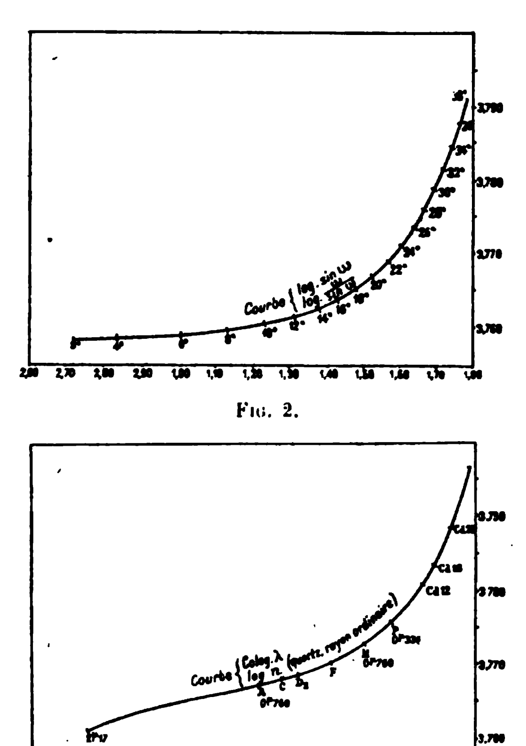


Fig. 2.

Fig. 3.

j'ai employé pour trancher la question. Dans la formule (3), je pose :

$$(4) \qquad \frac{hn}{\lambda} = x.$$

Des formules (3) et (4) je tire celles-ci :

$$(3') \qquad \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{k} \sin x,$$

$$(4') \qquad n = \frac{k}{h} \cdot \frac{x}{\sin x}.$$

Elles conduisent à l'opération suivante : construire les deux courbes qui ont pour coordonnées respectivement :

$$\text{(I)} \begin{cases} X = \log \sin x, \\ Y = \log \dfrac{x}{\sin x}; \end{cases} \qquad \text{(II)} \begin{cases} X' = \log \dfrac{1}{\lambda}, \\ Y' = \log n. \end{cases}$$

Superposer la courbe de dispersion (II) à la courbe type (I) par une double translation, de $\log k$ suivant Ox et de $\log \frac{h}{k}$ suivant Oy.

J'ai construit ces courbes (*fig.* 2 et 3). Manifestement, elles ne sont pas superposables. On y remarque notamment ceci : La courbe type (I) est concave vers les y positives. Quand x tend vers zéro ($x = 0$, $X = -\infty$, $Y = 0$), elle donne une branche infinie asymptote à Ox. La courbe de dispersion (II) devrait présenter les mêmes caractères. Or, pour les grandes valeurs de λ, elle offre une branche concave vers le bas, avec une forme parabolique.

4. *Conclusion*. — La méthode de de Sénarmont constitue la façon la plus avantageuse de présenter la théorie de l'éther périodique ; mieux que les autres, elle montre l'insuffisance de cette théorie de la dispersion et la nécessité qui en résulte d'envisager deux milieux qui se pénètrent, l'éther et la matière pondérable, comme l'ont fait Cauchy et plus tard M. Boussinesq et Helmholtz.

Voici d'ailleurs qui est plus grave : Si l'on applique les principes de de Sénarmont à l'étude des cristaux biréfringents, on aperçoit l'impossibilité manifeste d'expliquer par ces principes les lois de la double réfraction : non seulement il est nécessaire d'introduire quelque nouvelle hypothèse, mais il faut aussi abandonner la méthode même de de Sénarmont.

La décimalisation du quart de cercle (1) ;

Par M. J. de Rey-Pailhade.

Personne n'ignore que, dans l'esprit des auteurs du système métrique, la division décimale du quart de cercle a précédé l'établissement de l'étalon d'unité linéaire actuelle : le *mètre*. Ce dernier a déjà conquis le monde civilisé par le système C. G. S.

(1) Séance du 21 juin 1901.

Quant au frère aîné du mètre, le *grade* ou centième partie du quart de cercle, il a été employé par Laplace et Puissant.

Cette division décimale angulaire est exclusivement suivie par le service géographique de l'armée française pour la graduation des nouvelles cartes; elle a été adoptée successivement par plusieurs instituts géodésiques et par le service du cadastre. Remarquons que la centième partie du grade ou *centigrade-arc* correspond, à la surface de la terre, à 1 kilomètre.

Malgré les remarquables mémoires de l'amiral de Fleuriais, publiés en 1802, la Marine a conservé, pour unité angulaire pratique, la minute d'arc, correspondant au *nœud* ou *mille* égal à 1.852 mètres environ.

Des expériences exécutées avec soin en 1899 et 1900, sur des navires de guerre, sous la direction de M. le commandant Guyou, de l'Institut, ont montré que l'art nautique retirerait les plus grands avantages de l'usage de la division décimale du quart de cercle. On sait, d'ailleurs, depuis longtemps, que les systèmes décimaux abrègent la durée des calculs et des observations de près de $\frac{1}{2}$ et que les erreurs tombent de 4 ou 5 à 1, en diminuant la fatigue cérébrale des calculateurs.

En présence de ces avantages si sensibles, on signe en ce moment une pétition pour demander à M. le Ministre de l'Instruction publique de faire publier annuellement des *éphémérides* du soleil et des principaux astres, calculées dans la division décimale du quart de cercle.

Ce recueil rendra les plus grands services à ceux qui voudront employer le grade dès maintenant.

En physique, on fait aussi usage des angles.

A ma connaissance, rien n'oblige les physiciens à employer le système actuel des degrés; les travaux des géodésiens, des astronomes et des marins ont prouvé, au contraire, que toutes les branches de la science gagneront, d'une manière sensible, à la notation décimale de l'angle.

Je viens donc proposer à mes collègues de la *Société française de Physique* d'indiquer les angles dans les deux systèmes comme suit: $19^{\circ}17'25''$ ($21^{c}43'36''$).

Par sa grande notoriété et sa publicité considérable, notre *Bulletin* fera connaître et apprécier les avantages de la décimalisation de l'angle, qui permet d'employer directement les machines à calculer,

dont l'usage se répand de plus en plus. Les esprits se prépareront insensiblement à la réforme proposée par les auteurs du système métrique.

Lois de transparence de la matière pour les rayons X (1);

Par M. L. Benoist.

I

Après avoir établi, dès nos premières recherches sur les rayons X (2), l'hétérogénéité de ces rayons et l'absorption sélective exercée sur eux par les corps qu'ils traversent, j'ai étudié, dans la suite, l'influence de la densité et de la nature d'un certain nombre de corps sur cette absorption (3); j'ai ainsi montré que, en dehors de quelques cas particuliers, la transparence aux rayons X n'était pas uniquement fonction de la masse, mais que l'*opacité* spécifique, c'est-à-dire le *pouvoir absorbant de l'unité de masse*, augmentait, en général, assez vite avec la densité, allant, par exemple, de 0,09 pour l'aluminium à 0,81 pour le platine, l'unité de masse étant le décigramme par centimètre carré de surface exposée; de plus, ce pouvoir absorbant changeait pour un même corps avec la valeur de la masse prise pour unité; il changeait aussi avec l'espèce et avec l'état du tube radiogène, c'est-à-dire avec la qualité des rayons X employés. Enfin, ces changements se produisaient dans des proportions inégales pour les différents corps. Ainsi apparaissait un caractère essentiel au point de vue de la différenciation soit des rayons X, soit des corps qu'ils traversent, caractère comparable aux couleurs dans le cas de la lumière, et que l'on pouvait désigner sous le nom de *radiochroïsme*.

Cette première série de recherches, effectuées principalement par la méthode électrométrique, avait en quelque sorte jalonné la route à suivre.

Pour préciser les lois cherchées, il fallait désormais étudier séparé-

---

(1) Séance du 5 juillet 1901.

(2) L. Benoist et D. Hurmuzescu, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*. 17 février 1896.

(3) L. Benoist, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 18 janvier 1897; et *Bulletin de la Société Française de Physique*, 1896 et 1897.

ment l'influence de chacun des facteurs dont l'intervention dans le phénomène venait d'être constatée. Il fallait passer en revue tous les corps simples, pris sous divers états physiques, et le plus grand nombre possible de leurs composés ; et cela, dans des conditions méthodiquement variées quant aux épaisseurs traversées et aux rayons X employés.

C'est ainsi que l'étude de plus des deux tiers des corps simples actuellement connus, et d'un nombre considérable de leurs composés ou mélanges, m'a, dès à présent, fourni des résultats suffisamment généraux pour que l'on puisse en déduire les principales lois de transparence de la matière pour les rayons X.

La méthode électrométrique, qui, depuis que nous l'avons fait connaître [1], a rendu de nombreux services soit à d'autres, soit à nous-mêmes, présentait, à cause de sa sensibilité même, trop de lenteur pour une exploration aussi étendue ; aussi est-ce de la méthode de l'écran fluorescent que je me suis plus particulièrement servi dans cette nouvelle série de recherches.

Le dispositif que j'ai établi comporte des garanties particulièrement complètes contre les causes d'erreur d'ordre photométrique et contre l'intervention des rayons secondaires de quelque provenance que ce soit ; il se prête aux comparaisons les plus variées, quel que soit l'état physique des corps considérés, solides, liquides ou vapeurs ; enfin, il permet non seulement des mesures relatives, c'est-à-dire l'égalisation des transparences observées à celles d'un étalon convenablement choisi, mais encore des mesures absolues, c'est-à-dire la détermination directe des proportions de radiation transmise et absorbée.

J'ai obtenu ce dernier résultat en interceptant une fraction, connue et variable, du rayonnement que produit, dans une direction donnée, un tube radiogène, au moyen d'une roue dentée dont les dents peuvent être élargies ou rétrécies à volonté. Une rotation de rapidité convenable amène successivement les pleins et les vides sur la direction des rayons X, réduisant leur intensité totale par unité de temps, dans un rapport égal à celui de la largeur d'un vide à la largeur totale d'un plein et d'un vide. La variation de ce rapport s'obtient aisément, grâce à la superposition de plusieurs roues présentant un décalage déterminé.

---

[1] L. Benoist et D. Hurmuzescu, *Comptes rendus*, 3 février 1896.

J'ajoute enfin que cette roue photométrique et l'ensemble du dispositif précédent permettent également des mesures par voie radiographique.

Les mesures relatives de transparence ont été effectuées suivant la règle que voici : la transparence d'un certain corps, pris sous une certaine masse, constitue la transparence type ou étalon ; tous les autres corps sont amenés à l'épaisseur-masse convenable pour avoir cette même transparence, vis-à-vis d'une qualité donnée de rayons X.

En un mot, j'ai constitué des *équivalents de transparence* définis comme étant : *la masse, en décigrammes, d'un prisme ayant 1 centimètre carré de base, traversé suivant son axe par des rayons X de qualité donnée, et produisant sur eux la même absorption qu'un prisme de paraffine de 75 millimètres de hauteur* (étalon provisoirement choisi parmi les corps les plus transparents).

La roue photométrique donne, comme valeur de l'absorption ainsi produite, des nombres de l'ordre de $0^{m},94$, $0^{m},98$, etc., pour des rayons X plus ou moins mous ou durs.

Ce qui prouve en passant que la paraffine n'est pas un corps absolument *aradiochroïque* (Voir plus loin) ; le lithium l'est davantage ; mais il est peu maniable ; c'est au carbone pur qu'il conviendrait de s'adresser définitivement.

Voici, à titre d'exemples, quelques équivalents de transparence, pour rayons X de dureté moyenne, donnant une transmission de 6 0/0 :

Li...............	E = 115^{dg}
Si...............	E = 15,7
Fe..............	E = 2,7
Pb..............	E = 0,8
Ur..............	E = 0,6

Ces équivalents définissent et permettent de calculer l'absorption ou la transmission moyennes produites par l'unité de masse, c'est-à-dire l'*opacité* ou la *transparence spécifiques moyennes* dans des conditions déterminées.

Par exemple, Fe donnera :

Transparence spécifique moyenne...........	τ = 0,35
Absorption spécifique moyenne..............	α = 0,65

Je retrouve ainsi des nombres absolument du même ordre que ceux que m'a donnés autrefois la méthode électrométrique.

En modifiant soit la grandeur de la masse étalon, soit la qualité des rayons X, on obtient de nouvelles séries d'équivalents de transparence.

II

Les équivalents de transparence ainsi définis et mesurés fournissent un certain nombre de lois importantes, dont voici les principales :

Première loi. — L'opacité spécifique d'un corps, pour une qualité donnée de rayons X et pour une épaisseur étalon déterminée, est indépendante de l'état physique de ce corps.

En un mot, l'équivalent de transparence conserve la même valeur, pour un même corps, à l'état solide, liquide ou gazeux; il est le même, par exemple, pour l'eau et la glace, pour le brome liquide ou en vapeurs, pour l'iode solide ou en vapeurs, etc.

Ce fait important n'est pas seulement le résultat des mesures directes ; il constitue aussi une conséquence nécessaire de la concordance constamment obtenue entre les transparences mesurées et les valeurs calculées sans tenir compte des états physiques.

M. Van Aubel a publié, en 1897, dans le *Journal de Physique* (1), des observations relatives à quelques vapeurs, et desquelles il concluait que les vapeurs étaient très transparentes aux rayons X, alors que les mêmes corps solides ou liquides étaient très opaques ; de telle sorte que, d'après lui, l'état physique jouait un rôle très considérable dans la transparence aux rayons X.

Il ne m'a pas été difficile, grâce aux données numériques établies par moi, et à la connaissance de tous les facteurs dont on ne tenait pas encore compte à cette époque, de mettre en évidence les causes d'erreurs contenues dans les observations de M. Van Aubel, qui ne définissait pas d'une façon précise les masses traversées, ne comparait pas des masses égales sous les différents états physiques, et opérait sur des masses de vapeurs beaucoup trop faibles pour obtenir une absorption notable.

C'est ainsi que l'équivalent de transparence du brome étant, d'après mes mesures, et pour des rayons X moyens, égal à $1^{dg},70$, il comparait environ $\frac{1}{40}$ d'équivalent de brome-vapeur à 6 équivalents environ de brome-liquide.

(1) Voir 3e série, t. VI, p. 528.

J'ai mesuré spécialement les équivalents de transparence de la vapeur de brome et de la vapeur d'iode, en employant un dispositif où la densité de la vapeur est exactement définie, où sa masse, traversée par les rayons X, est la même que celle qui constitue à l'état solide ou liquide l'équivalent de transparence, et j'ai très exactement retrouvé, dans ce cas comme dans tous les autres, l'identité de transparence sous les trois états physiques.

D'autres corps, très opaques aux rayons X, et présentant des points d'ébullition assez bas pour fournir aisément des colonnes de vapeur de masse bien définie, m'ont donné également une concordance parfaite entre les équivalents de transparence mesurés à l'état de vapeur et mesurés sous un autre état, ou calculés sans tenir compte de l'état physique.

Par exemple :

Le bromure d'éthyle, C^2H^5Br, qui bout à 40°,7,		$E = 2^{gr},6$
L'iodure de méthyle, CH^3I,	— 44°	$E = 1\ \ ,3$

J'ajoute que la loi d'indépendance de l'opacité spécifique vis-à-vis de l'état physique s'applique également aux *changements de température ;* c'est ce que j'avais d'ailleurs vérifié antérieurement pour les gaz plus ou moins chauffés, pour le platine froid ou porté au rouge, etc.

Cette loi s'étend également aux états *cristallin* ou *amorphe.*

C'est ainsi que le quartz a même équivalent de transparence que la silice amorphe et pulvérulente ; le corindon et le rubis oriental, que l'alumine amorphe ; le charbon pur et amorphe, que le graphite pur ou le diamant, etc.

Il est essentiel, dans ces vérifications, de n'employer que des échantillons d'une pureté absolue ; car de faibles traces de corps opaques peuvent introduire de notables divergences ; c'est ainsi que 2 0/0 d'oxyde de fer dans le graphite naturel abaissent sa transparence de près de moitié ; ou bien encore un peu d'air ou de vapeur d'eau condensés par du charbon de sucre très pur peuvent réduire sa transparence de près d'un dixième.

Deuxième loi. — L'opacité spécifique d'un corps est indépendante du mode de groupement atomique ou moléculaire, c'est-à-dire, par exemple, de l'*allotropie* pour les corps simples, de la *polymérie* pour les corps composés.

C'est ainsi que le phosphore jaune et le phosphore rouge ont même équivalent de transparence.

C'est ainsi encore que :

L'aldéhyde benzylique, C^7H^6O, donne $E = 61^{gr}$
La benzoïne, $C^{14}H^{12}O^2$, — $E = 60^{gr},5$

Troisième loi. — L'opacité spécifique est indépendante de l'état de liberté ou de combinaison des atomes.

L'équivalent de transparence d'un mélange ou d'une combinaison peut, en effet, se calculer au moyen des équivalents de leurs éléments constitutifs, en tenant compte de leurs proportions respectives. En partant de la définition même des équivalents de transparence, on obtient aisément la formule générale :

$$\frac{M}{E} = \Sigma \frac{m}{e},$$

dans laquelle :

M est la masse totale du composé ou du mélange ;
E, son équivalent de transparence ;
m, la masse de l'un des éléments constitutifs ;
e, son équivalent de transparence.

Cette formule peut aussi bien servir à calculer E que *e*.

Exemples :

Silicium (mesuré). $E = 15,7$ / Oxygène — $E = 44,5$ } d'où quartz { Calculé.. $E = 24$ / Mesuré.. $E = 24,1$

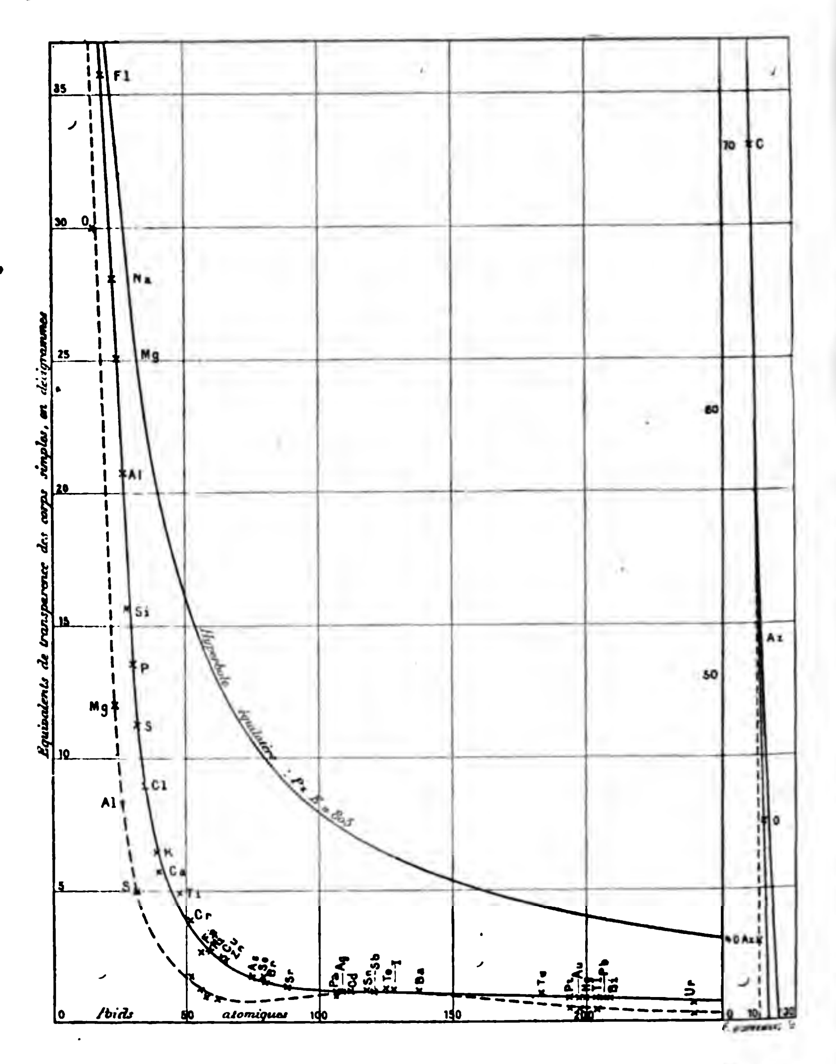
Lithine caustique (mesuré). $E = 57$ / Oxygène — $E = 44,5$ } d'où lithium { Calculé. $E = 113,8$ / Mesuré. $E = 115$

Lorsque les éléments mélangés ou combinés n'ont pas le même radiochroïsme, et agissent comme écrans sélecteurs les uns vis-à-vis des autres, il suffit de modifier, dans la formule générale, l'équivalent de transparence *e* par un coefficient K, que nous fournit l'étude du radiochroïsme dont il sera question plus loin.

Quatrième loi. — L'opacité spécifique des corps simples, mesurée toujours dans des conditions bien définies, est une fonction déterminée et généralement croissante de leurs poids atomiques.

Il ressort des lois précédentes que l'opacité spécifique, étant indépendante de tous modes de groupement des atomes, ne peut dépendre, si elle n'est pas égale pour tous les corps simples, que de leurs poids atomiques.

J'ai donc été conduit à dresser des *courbes d'isotransparence*, ayant pour *abscisses les poids atomiques* et pour *ordonnées les équivalents de transparence* des différents corps simples, mesurés pour tous dans des conditions identiques.



Telle est la courbe en trait plein de la figure ci-jointe, établie pour une certaine qualité moyenne de rayons X; à droite se trouve reportée la portion de courbe allant du fluor au carbone; celle qui

va du carbone (E = 70) au lithium (E = 115) n'a pu entrer dans le cadre adopté ici ; elle est très sensiblement rectiligne.

On est frappé, dès que l'on a obtenu, par quelques points, l'allure générale de la courbe, de la grande régularité avec laquelle tous les autres corps viennent se placer sur la ligne ainsi indiquée ; les très petits écarts existant pour quelques-uns peuvent s'expliquer soit par un défaut de pureté absolue des échantillons étudiés, soit par de légères variations des rayons X employés.

Cette courbe est d'allure hyperbolique, mais ne coïncide pas avec l'hyperbole équilatère, $P \times E = 805$, menée par l'un des points extrêmes, celui du lithium ; les deux courbes, sensiblement confondues pour les poids atomiques les plus faibles, s'écartent ensuite notablement l'une de l'autre, avec un maximum d'écart pour les poids atomiques moyens.

On peut dire que la courbe obtenue représente une *loi générale de transparence de la matière pour des conditions déterminées d'épaisseur-masse et de rayons X*, dans laquelle l'opacité spécifique, définie par les équivalents de transparence, est liée au poids atomique par une relation plus complexe que la simple proportionnalité.

L'équation de la courbe serait, en effet, de la forme :

$$E = A + \frac{B}{P} + \frac{C}{P^2}.$$

Les conditions expérimentales qui ont fourni cette courbe peuvent être méthodiquement modifiées :

Soit en modifiant l'état du tube radiogène, le *ramollissant* ou le *durcissant* par chauffage, osmorégulation, etc. ;

Soit en changeant le type du tube employé : tube à anticathode d'aluminium, etc. ;

Soit en interposant entre le tube radiogène et les corps étudiés des *écrans* plus ou moins *radiochroïques* (soufre, plomb, etc.) et plus ou moins épais ;

Soit, enfin, en modifiant l'épaisseur-masse étalon, ce qui entraîne, pour les corps étudiés, une sélection plus ou moins complète des rayons X qui les traversent.

On voit alors les équivalents de transparence augmenter ou diminuer ensemble, mais non de quantités proportionnelles, ce qui correspond à une déformation progressive de la courbe initiale. En un mot, on obtient un faisceau de *courbes d'isotransparence*, dont cha-

cune représente une loi de transparence de la matière, pour des conditions particulières et déterminées. Les unes s'abaissent vers l'axe des poids atomiques, comme la courbe ponctuée représentée sur la figure, et correspondant à des rayons très mous ; d'autres, au contraire, s'élèvent, se tendent davantage, et se rapprochent de l'hyperbole équilatère, qu'il est possible d'atteindre (peut-être même de dépasser !) pour des rayons X suffisamment pénétrants et suffisamment homogènes.

Pour rendre plus sensibles les écarts entre ces courbes, il est commode souvent de les transformer, en prenant pour ordonnées les logarithmes des équivalents de transparence.

La conclusion essentielle qui ressort des résultats expérimentaux qui précèdent et des lois qu'ils m'ont permis de formuler, c'est que l'équivalent de transparence d'un corps simple, pour les rayons X, pris dans des conditions bien déterminées, constitue une constante, absolument caractéristique de ce corps simple sous quelque forme, sous quelque état qu'il se présente. En un mot, l'*opacité spécifique*, pour les rayons X, représente une *nouvelle propriété additive de la matière*, comme la masse, le poids atomique, la capacité calorifique atomique, avec l'avantage d'être indépendante de toutes les causes qui font varier cette dernière.

De là, de nombreuses et importantes applications, dont je vais rapidement indiquer les principales.

III

1° *Qualification précise des rayons X.* — Chaque courbe d'isotransparence qualifie d'une façon très précise un groupe déterminé de rayons X.

Une fois le réseau de courbes obtenu, et l'allure de chacune d'elles caractérisée, il suffit souvent de deux ou trois points pour retrouver le groupe de rayons X qui lui correspond.

2° *Étude du radiochroïsme.* — D'une courbe à une autre, le passage ne s'effectue pas par déplacements proportionnels pour les différents corps, ce qui est une nouvelle manifestation du radiochroïsme, c'est-à-dire de cette absorption sélective, variable d'un corps à un autre, que la matière exerce sur les rayons X. On voit ainsi pour quelles raisons le corps servant d'étalon de transparence

doit être choisi parmi les moins radiochroïques. Le radiochroïsme d'un autre corps sera dès lors d'autant plus complexe que ses déplacements d'une courbe à une autre, c'est-à-dire que les variations de son équivalent de transparence, seront plus considérables. L'étude générale du radiochroïsme repose donc à la fois sur l'examen du réseau de courbes d'isotransparence et sur la mesure absolue, par la roue photométrique, de certaines transparences spécifiques. La paraffine ne m'a paru *aradiochroïque* que pour des rayons X suffisamment durs ou élevés ; mais elle est encore sensiblement *radiochroïque* pour des rayons mous ou bas. L'étude des courbes montre, d'autre part, que le lithium est encore moins radiochroïque que la paraffine, mais que les corps venant après le carbone ont, au contraire, un radiochroïsmeplus prononcé, et s'accentuant, en général, à mesure que leur poids atomique augmente. Par exemple, il est facile, en ramollissant un tube radiogène, puis en le durcissant, et finalement en interposant un écran de plomb, de faire varier l'équivalent de l'aluminium dans le rapport de 1 à 10. Le chrome présente des variations encore plus fortes.

Toutefois, les courbes pour rayons bas présentent, comme on le voit sur la figure pour la courbe ponctuée, une déformation remarquable dans la région des poids atomiques, 100 à 130 environ. L'argent et les corps voisins ont donc un radiochroïsme minimum, ou, si l'on veut, une transparence anormale pour les rayons très mous. Il est intéressant de rapprocher ce fait de la transparence anormale de l'argent pour les rayons ultra-violets, signalée en 1882 par M. de Chardonnet. On peut aussi le rapprocher de certaines anomalies observées par plusieurs expérimentateurs dans le rôle que joue l'argent dans quelques phénomènes se rattachant aux rayons X.

3° *Classification générale des rayons X, des rayons secondaires, tertiaires, des rayons de l'uranium, du radium, etc.* — L'établissement de courbes d'isotransparence pour ces différents rayons équivaut à la dispersion produite par un prisme ou un réseau sur les rayons qui constituent ou accompagnent la lumière ; on a donc là un moyen précis de former une véritable échelle spectrale de toutes ces radiations nouvelles, et de les relier même aux rayons lumineux.

4° *Classification des tubes radiogènes et de leurs différents états.* — Il suffit de construire la courbe d'isotransparence que donne tel tube ou tel état d'un tube radiogène. Le plus souvent, deux points convenablement choisis suffiront pour déterminer cette courbe. Ces deux

points devront correspondre à deux corps de radiochroïsme très différent.

L'exemple suivant montrera la sensibilité du procédé.

Une quantité constante de chrome a successivement égalé par sa transparence les diverses épaisseurs de paraffine que voici, en même temps que l'on augmentait la dureté du tube radiogène :

Épaisseur de paraffine	Etincelle équivalente mesurant la dureté du tube
150mm	15mm
95	50
85	70
80	110
75	180
»	»
15	180 (avec interposition d'un écran de plomb de 0mm,58)

Il est donc possible de constituer une *échelle de teintes* radiochroïques pour tube radiogène, comprenant, au besoin, une vingtaine de degrés et même davantage.

J'ai constitué de semblables *chromomètres* en prenant soit un couple paraffine-aluminium, soit un couple argent-aluminium. Ces chromomètres peuvent être soit rectilignes, soit circulaires.

La seconde forme est particulièrement commode pour la pratique ; l'épaisseur-étalon d'argent occupe le centre d'un cercle dont le contour est formé par douze secteurs d'aluminium d'épaisseur régulièrement croissante. Le numéro d'ordre du secteur d'aluminium qui donne, soit à l'écran fluorescent, soit sur la plaque radiographique, la même transparence que l'étalon d'argent, caractérise le tube radiogène d'une façon singulièrement plus précise que le simple aspect de ce tube ou que la longueur d'étincelle équivalente.

Ce chromomètre constitue en même temps un *photomètre ;* car, selon l'intensité du rayonnement, le dernier secteur d'aluminium traversé est d'ordre plus ou moins élevé.

5° *Relation entre le pouvoir absorbant d'un corps pour des rayons X de qualité donnée et son pouvoir émissif pour ces rayons ou pour d'autres, soit X, soit S, etc.* — Un certain nombre de résultats électrométriques m'ont déjà conduit à admettre que les corps qui absorbaient le plus les rayons X, en général, devaient aussi les émettre avec le plus de facilité en servant d'anticathode. De là, la justifica-

tion, donnée antérieurement, de l'emploi du platine dans les tubes radiogènes.

Mais, vu le mode de répartition des pouvoirs absorbants selon les corps et les rayons X considérés, j'ai pensé qu'une différence analogue devait exister pour les pouvoirs émissifs. Un corps particulièrement absorbant pour les rayons mous, comme l'aluminium, devra, en servant d'anticathode, donner principalement des rayons mous.

C'est ce que j'ai très nettement vérifié en comparant des tubes à anticathode d'aluminium et des tubes à anticathode de platine, à résistance égale ; les premiers donnent des rayons bien plus bas, plus mous, que les seconds.

Par exemple, au chromomètre argent-aluminium,

Un tube aluminium marque........................	4°,5
— platine —	6°,0

l'étincelle équivalente étant la même.

J'ai même obtenu des différences encore plus considérables ; j'en ai conclu que la première sorte de tube devait donner, dans la pratique radioscopique ou radiographique, des oppositions plus marquées, des clichés plus détaillés que la seconde. C'est ce que j'ai vérifié.

On peut donc partir de ces résultats et utiliser cette méthode pour perfectionner la construction des tubes radiogènes et les adapter rationnellement à l'emploi de telle ou telle qualité de rayons X.

Quant à la relation entre le pouvoir absorbant pour les rayons X et l'émission des rayons secondaires, elle ressort d'expériences électrométriques plus anciennes dont j'aurai l'occasion de reparler. L'allure des courbes d'isotransparence explique certaines anomalies constatées dans l'influence du poids atomique sur l'émission de ces derniers rayons.

6° *Méthode de détermination ou de vérification des poids atomiques.* — Cette méthode ressort immédiatement de la relation déterminée qui existe entre le poids atomique d'un corps simple et son équivalent de transparence, pour une qualité bien définie des rayons X.

Cette nouvelle méthode est plus générale, et, à maints égards, plus précise, que celle qui résulte de la loi de Dulong et Petit sur les chaleurs spécifiques. En effet, l'opacité spécifique d'un corps simple, ou ce qui la représente pratiquement, son équivalent de transparence, défini et mesuré dans des conditions bien déterminées, constitue une

constante physico-chimique bien plus étroitement liée au poids atomique que la chaleur spécifique, puisqu'elle est indépendante de tous les changements d'état qui font varier cette dernière souvent dans de très fortes proportions.

Cette constante peut être déterminée par un examen physique aussi simple que rapide, soit sur l'élément lui-même, soit sur un mélange ou un composé connu qui le contienne. La valeur numérique obtenue assigne à l'élément considéré une place déterminée sur la courbe d'isotransparence qui correspond aux conditions choisies ; de là une valeur déterminée assignée aussi au poids atomique. Une transformation logarithmique de la courbe augmentera, au besoin, la sensibilité du procédé, en modifiant la pente de la courbe.

Cette méthode contient, de plus, un précieux élément de contrôle, par l'étude du radiochroïsme de l'élément considéré, c'est-à-dire par le sens et la grandeur des variations de son équivalent de transparence, lorsqu'on passe d'une courbe à une autre, en modifiant la qualité des rayons X employés.

Je donnerai, à titre d'exemple, l'application que j'ai faite de cette méthode à l'indium, dont la place dans la classification des corps simples est encore discutée, les chimistes ayant à choisir entre deux valeurs possibles, 75,6 et 113,4, de son poids atomique.

Tout récemment, MM. C. Chabrié et E. Rengade ont repris la question par voie chimique [1]. La formation des aluns d'indium et des métaux alcalins leur a permis de conclure à la trivalence de l'indium, à ses analogies chimiques avec les métaux à sesquioxydes, et, par suite, au poids atomique 113,4. Ayant aussi obtenu l'acétylacétonate d'indium $[(CH^3 - CO)^2 = CH]^3 In$, ils ont pu en déterminer le poids moléculaire, non directement il est vrai, ce sel n'étant pas volatil sans décomposition, mais par l'ébullioscopie, et sont arrivés à la même conclusion.

Il était donc intéressant de soumettre la question à la méthode nouvelle dont je viens d'exposer le principe.

J'ai pu utiliser, grâce à l'obligeance de M. Chabrié, l'acétylacétonate d'indium bien cristallisé, puis l'indium métallique très pur, préparés par ces chimistes.

Malgré la petite quantité de sel ($0^{gr},440$) et l'inégale grosseur des cristaux que je ne voulais pas pulvériser, j'ai pu déterminer, avec une

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 31 décembre 1900 et 25 février 1901.

précision satisfaisante, son équivalent de transparence pour la courbe en trait plein de la figure.

J'ai obtenu le nombre $3^{dg},6$, d'où j'ai pu déduire par la formule $\frac{M}{E} = \Sigma \frac{m}{e}$ l'équivalent de l'indium lui-même.

Ayant eu ensuite à ma disposition de l'indium métallique, que je laminai à diverses épaisseurs, j'ai mesuré directement son équivalent de transparence.

Les deux résultats ont été absolument concordants :

Équivalent de l'indium	Calculé d'après celui de l'acétylacétonate	$E = 1,05$
	Mesuré directement sur l'indium	$E = 1,10$

Or cette valeur éloigne absolument l'indium de la région des poids atomiques voisins de 75 ; car, pour cette valeur, l'équivalent devrait être $E = 1^{dg},7$, sensiblement égal à celui de l'arsenic (Voir la courbe précitée). Elle le met, au contraire, avec le poids atomique $P_a = 113,4$, immédiatement à la suite de l'argent ($P_a = 108$) et du cadmium ($P_a = 112$), dont les équivalents sont égaux ou un peu inférieurs à $1^{dg},2$. Cette conclusion fut vérifiée par la comparaison directe de l'indium à l'arsenic, d'une part, à l'argent et au cadmium, d'autre part.

Mais la méthode comporte, ainsi que je l'ai dit, un précieux moyen de contrôle. Si l'on se reporte à la figure, on voit que, dans la région de l'arsenic, la courbe des rayons mous s'écarte très notablement de celle des rayons de dureté moyenne, et que l'équivalent de l'arsenic varie *du simple au double* d'une courbe à l'autre. Au contraire, pour la région de l'argent et du cadmium, les deux courbes se confondent presque, les écarts étant à peine de l'ordre *du dixième*, pour se séparer de nouveau vers les poids atomiques très élevés.

Or, en soumettant soit le sel d'indium, soit l'indium lui-même, côte à côte, tantôt avec l'arsenic, tantôt avec l'argent ou le cadmium, à ce changement de rayons X, j'ai pu constater très nettement qu'il se comporte *comme l'argent et le cadmium et non comme l'arsenic.*

Donc, la transparence de l'indium aux rayons X, avec tous les caractères de variation qui l'accompagnent, assigne à ce corps simple le poids atomique 113,4, à l'exclusion formelle de la valeur 75,6.

J'ai commencé à appliquer la même méthode au glucinium et à quelques autres corps.

7° *Méthode d'analyse qualitative et quantitative des composés et des mélanges.* — Les grandes inégalités de transparence qui furent constatées dès la découverte des rayons X, dans les différents corps qu'on peut leur soumettre, suggérèrent immédiatement à beaucoup de personnes l'idée de les utiliser pour reconnaître certains mélanges ou certaines fraudes de produits alimentaires ou industriels; on les appliqua, par exemple, à l'essai des diamants, à celui des farines et aussi des charbons. Mais, n'étant guidées par aucune loi, ces comparaisons étaient entièrement empiriques.

Les lois que je viens d'exposer nous fournissent, au contraire, une méthode générale d'analyse qualitative et quantitative, s'appliquant aussi bien aux composés qu'aux mélanges, et s'appuyant sur des règles sûres et précises.

La formule fondamentale que ces lois m'ont permis d'établir :

$$\frac{M}{E} = \Sigma \frac{m}{e}.$$

nous donne, en effet, la valeur que doit avoir l'équivalent de transparence d'un composé ou d'un mélange supposés purs. Si donc, en mesurant expérimentalement cet équivalent, on trouve une valeur plus grande ou plus faible, on peut en conclure que l'un des éléments normaux de ce corps a été remplacé par un élément étranger soit plus transparent, soit plus opaque. La grandeur de l'écart observé indiquera dans quel groupe chimique il faut chercher cet élément étranger. Les phénomènes de radiochroïsme fourniront encore ici un précieux contrôle.

Si l'on connaît déjà, par d'autres caractères, la nature des éléments constitutifs du corps étudié, c'est l'une des masses m que l'on pourra prendre comme inconnue dans la formule.

Or, en admettant que l'on se contente photométriquement d'une précision de l'ordre de $\frac{1}{20}$, il sera aisé d'obtenir, dans cette méthode d'analyse quantitative, une précision au moins égale à $\frac{1}{100}$. Dans certains cas, on atteindra et on dépassera même le millième.

C'est ainsi que l'uranium étant 80 fois plus opaque que l'eau pour des rayons moyens :

$$H^2O, \ E = 48$$
$$Ur, \ E = 0{,}6,$$

on pourra doser un sel d'uranium dissous dans l'eau à $\frac{1}{1600}$ près.

Pour montrer la netteté avec laquelle s'applique la formule fondamentale, je citerai, parmi beaucoup d'autres, la vérification suivante :

J'ai calculé, puis mesuré l'équivalent de transparence de l'alun de chrome cristallisé, $[SO^4K^2 + (SO^4)^3Cr^2 + 24H^2O]$, composé déjà assez complexe :

E calculé $= 15^{dg},48$
E mesuré $= 15^{dg}$

Le calcul a été fait sans même tenir compte des différences de radiochroïsme, et celles-ci suffisent, comme je l'ai vérifié expérimentalement, pour expliquer le très faible écart entre les deux nombres.

IV

En résumé, les lois générales de transparence de la matière pour les rayons X, se dépouillant de leur complexité apparente, présentent au contraire, dès maintenant, une simplicité que l'on est loin de rencontrer dans le cas des autres radiations antérieurement connues.

Ces lois ne font intervenir, pour une qualité déterminée de rayons X, que la masse absolue et la masse atomique, si bien qu'il est possible, en partant de ces données, de calculer la transparence de n'importe quel corps, quelque complexe qu'il soit.

Ces lois peuvent aussi servir, dès maintenant, de point de départ à une étude méthodique d'ensemble et à une classification des rayons X et de tous ceux qui s'y rattachent.

Elles fournissent d'importantes applications dans la pratique des rayons X, dans le maniement et la construction des tubes radiogènes, dans les analyses chimiques et industrielles.

Elles apportent enfin à la chimie générale le secours d'une propriété nouvelle de la matière, propriété essentiellement additive, essentiellement liée aux poids atomiques, et capable de rendre, pour l'étude de ces derniers, des services au moins comparables à ceux qu'a pu lui rendre la loi de Dulong et Petit.

Foyers conjugués de pinceaux lumineux obliques à une surface sphérique réfringente. — Formule de Thomas Young. — Applications (1);

Par M. A. Champigny.

Les traités de physique établissent la formule des foyers conjugués de pinceaux lumineux, dans le cas où ces pinceaux, supposés de faible ouverture, sont normaux à une surface sphérique.

Cette formule, en y joignant le calcul trigonométrique de la marche des rayons marginaux, est suffisante dans un grand nombre d'applications, et spécialement dans le cas de la lunette astronomique, dans laquelle la lumière traverse l'objectif presque perpendiculairement.

Les objectifs de microscope et les objectifs photographiques, qui sont grand angulaires, ont nécessité des études complémentaires, ayant permis de les amener à un grand état de perfection. — Toutefois les calculs à effectuer sont longs, et le tâtonnement y a une large part.

La connaissance d'une formule des foyers conjugués des pinceaux obliques permettrait, à mon sens, d'aborder ces questions d'une manière plus scientifique, et de réaliser des résultats qui n'ont pas encore été obtenus.

Cette formule existe; elle a été établie depuis longtemps par Thomas Young, par des considérations géométriques; mais elle est peu connue. — Je me propose ici de la rappeler, de l'établir d'une manière simple, par les méthodes de calcul qui sont aujourd'hui en usage, puis d'en signaler quelques applications.

Nous considérerons d'abord un pinceau de faible ouverture, et nous prendrons le cas de la surface antérieure convexe d'une loupe, par exemple. — Le plan de la figure 1 est le plan d'incidence du rayon moyen; A est le sommet du pinceau incident, B son foyer conjugué, P et Q les longueurs à partir de la sphère des pinceaux incident et réfracté, i et r leurs angles avec le rayon correspondant de la sphère, de grandeur R, enfin n l'indice de réfraction.

On a :

$$AM = P, \qquad BM = Q, \qquad OM = R,$$
$$i = o + a, \qquad \sin i = n \sin r$$

(1) Séance du 5 juillet 1901.

et

$$da = di - do, \qquad di \cos i = n dr \cos r$$
$$\frac{di}{dr} = n \frac{\cos r}{\cos i}.$$

Considérant le triangle AMN, dans lequel MN a pour valeur Rdo, et où l'angle en M a pour complément $-i$, il vient :

$$\frac{\text{AN}}{\sin \text{M}} = \frac{\text{MN}}{\sin da}, \qquad \text{ou} \qquad \frac{\text{P}}{\cos i} = \frac{\text{R}do}{da} = \frac{\text{R}do}{di - do}$$

et

$$do(\text{R} \cos i + \text{P}) = di \times \text{P}.$$

Le triangle BMN donnerait de même :

$$do(\text{R} \cos r + \text{Q}) = dr \times \text{Q}.$$

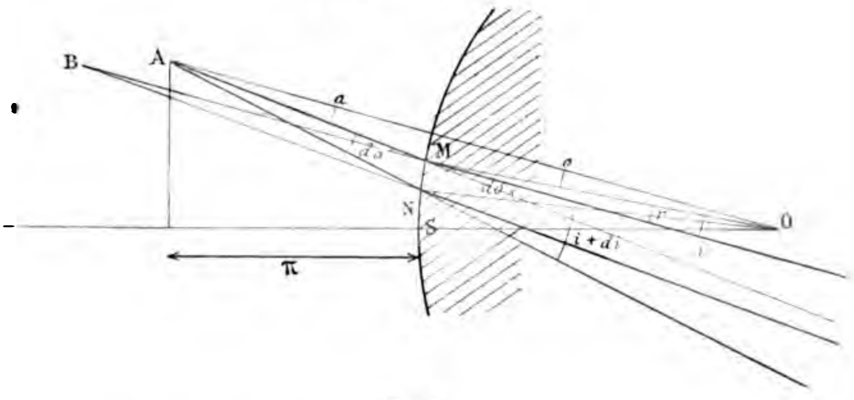


Fig. 1.

Divisant ces deux relations, il vient :

$$\frac{\text{R} \cos i + \text{P}}{\text{R} \cos r + \text{Q}} = \frac{di}{dr} \times \frac{\text{P}}{\text{Q}} = \frac{n \cos r}{\cos i} \times \frac{\text{P}}{\text{Q}},$$

ce qui peut s'écrire

$$\text{Q} = \frac{n\text{PR} \cos^2 r}{(\text{R} \cos i + \text{P}) \cos i - \text{P}n \cos r}.$$

r étant fonction de i, aisément calculable, on voit que Q peut ainsi se calculer d'après les données du problème qui sont P, R, i et n.

Cette formule est celle des foyers conjugués, telle que Thomas Young l'a établie par des considérations géométriques.

Pour $i = 0$, $\cos i$ et $\cos r$ ont la valeur 1, et la formule de Young donne la formule connue des pinceaux normaux :

$$\frac{1}{P} - \frac{n}{Q} = \frac{n-1}{R}.$$

La formule de Young a une grande importance. — On voit que, pour un pinceau d'ouverture quelconque, elle est susceptible de donner, point par point, la surface conjuguée qui est le lieu des foyers de tous les pinceaux étroits ayant un même sommet, de faire connaître la distance de ces divers points à une surface réfringente, et de permettre d'aborder aussi la question des aberrations sphériques.

Construction géométrique des deux images d'un point lumineux produit par réfraction oblique sur une surface sphérique (1) ;

Par M. A. Cornu.

La construction des foyers conjugués d'un faisceau réfracté émanant d'un point est peu connue : les traités classiques la passent, en général, sous silence, et cependant elle est fort utile pour l'étude géométrique, pour le tracé graphique ou même pour la vérification du calcul des systèmes réfringents.

J'ai eu autrefois l'occasion d'examiner ce problème et de rencontrer une construction géométrique simple (2).

Dans le cas de la recherche du foyer correspondant au pinceau lumineux situé dans le plan d'incidence, le théorème est le suivant :

Considérons, dans le plan d'une courbe dirimante OM, *un point lumineux*, A, *un rayon qui en émane*, AO, *et le rayon réfracté correspondant* OB. *Si le point lumineux* A *se meut sur le rayon incident, le point* B *de la caustique qui lui correspond sur le rayon réfracté se déplace de telle sorte que la droite qui les joint passe par un point fixe* J.

Ce point, que nous nommerons centre de jonction, est le pied de la perpendiculaire abaissée du centre de courbure C *au point d'incidence*,

(1) Séance du 5 juillet 1901.

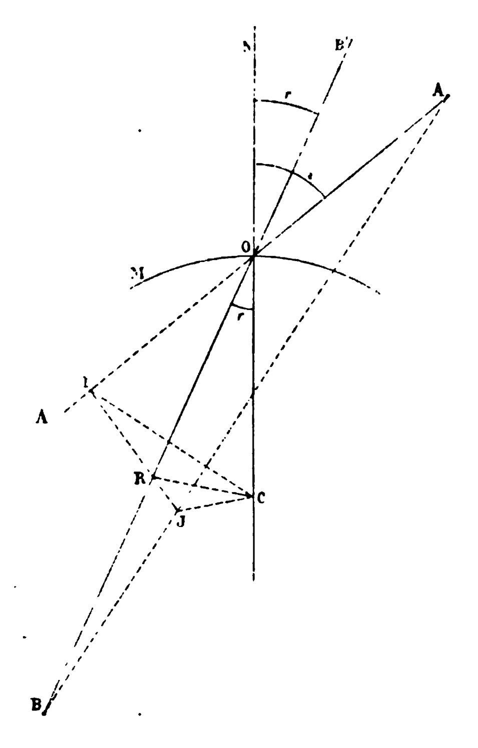
(2) A. Cornu, *Caustiques. — Centre de jonction* (*Nouvelles Annales de Mathématiques*, 2e série, t. II; 1863).

sur la droite qui joint les pieds I *et* R *des perpendiculaires abaissées du même point sur les rayons incident et réfracté* [1] :

L'existence du point fixe J est une conséquence immédiate de la formule bien connue :

$$(1) \qquad \frac{1}{\rho}(\cos i - n \cos r) = \frac{\cos^2 i}{a} - n \frac{\cos^2 r}{b},$$

facile à démontrer par des constructions infinitésimales :



Dans cette expression, ρ est le rayon de courbure de la courbe OM, i et r les angles d'incidence et de réfraction, a la distance DA, b la distance OB.

---

(1) Je croyais cette construction nouvelle; mais, depuis, j'ai reconnu que Thomas Young l'avait donnée sous une forme équivalente (Voir *Philosophical Transactions*, 1801, vol. XCII, p. 28, et *Œuvres ophtalmologiques* de Thomas Young, traduites et annotées par M. Tscherning, p. 82, Copenhague, 1894). — C'est donc, en définitive, le théorème de Young dont je donne ici la démonstration.

En effet, la droite AB, rapportée aux axes obliques OA′, OB faisant entre eux l'angle $\theta = (i - r)$, aura pour équation :

$$(2) \qquad \frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1,$$

dont les paramètres $\frac{1}{a}$ et $\frac{1}{b}$ sont liés par la formule (1).

Comme les paramètres entrent linéairement dans les deux équations, l'enveloppe de cette droite se réduit à un point ; la droite AB passe donc par un point fixe.

Éliminons l'un des deux paramètres, par exemple $\frac{1}{b}$, il vient, après réduction (1),

$$\frac{y}{\rho}(\cos i - n \cos r) + n \cos^2 r = \frac{1}{a}(xn \cos^2 r + y \cos^2 i),$$

équation satisfaite indépendamment de (1), si l'on égale à zéro chacun des deux membres. Résolvant par rapport à x et y, après avoir substitué à n sa valeur $\frac{\sin i}{\sin r}$, on obtient les coordonnées de ce point fixe J, centre de jonction :

$$(3) \qquad x = -\rho \frac{\sin r \cos^2 i}{\sin(i - r)};$$

$$(4) \qquad y = +\rho \frac{\sin i \cos^2 r}{\sin(i - r)}.$$

Toute combinaison linéaire de ces deux valeurs donnera une droite passant par le centre de jonction.

1° Divisons l'équation (3) par $\rho \cos i$, (4) par $\rho \cos r$, et ajoutons membre à membre ; il vient :

$$(5) \qquad \frac{x}{\rho \cos r} + \frac{y}{\rho \cos i} = 1,$$

$\rho \cos r$ et $\rho \cos i$ sont les distances à l'origine des pieds des perpendiculaires abaissées du centre de courbure sur les axes. Le centre de jonction se trouve donc sur la droite qui joint les pieds des perpendiculaires abaissées du centre de courbure sur les deux rayons.

2° Multiplions (3) par $\sin r$ et (4) par $\sin i$, et ajoutons membre à membre, on a :

$$y \sin i + x \sin r = \rho \sin(i + r),$$

équation d'une nouvelle droite passant encore par le point J.

Elle est perpendiculaire à la droite (5), car les coefficients angulaires :

$$m = -\frac{\cos r}{\cos i}, \qquad m' = -\frac{\sin r}{\sin i},$$

satisfont à la relation de perpendicularité dans le cas des axes obliques :

$$1 + mm' + (m + m')\cos\theta = 0 ;$$

ici :

$$\theta = i - r.$$

Elle passe d'ailleurs par le centre de courbure C, car son équation est satisfaite par les coordonnées de ce point :

$$x' = -\rho\frac{\sin r}{\sin(i - r)},$$
$$y' = \rho\frac{\sin i}{\sin(i - r)}.$$

La construction est donc démontrée.

Dans le cas des caustiques par réflexion, la construction se simplifie, parce que $r = -i$, et $n = -1$:

Le centre de jonction se trouve à l'intersection de la perpendiculaire CJ abaissée du centre de courbure C sur la droite qui joint les projections symétriques I et R du centre de courbure.

Remarque. — On sait que l'image du point A par réfraction est *astigmatique*, c'est-à-dire se compose de deux éléments linéaires, dont l'un, B, est perpendiculaire au plan d'incidence ; c'est celui dont nous venons de déterminer la position.

L'autre foyer est un élément situé dans le plan d'incidence dont on obtient la position en considérant un second rayon issu du point A et rencontrant la surface sphérique en O', à une distance OO' infiniment petite sous la même incidence. Les deux normales ON, O'N' convergent au centre de courbure C ; les deux plans de réfraction se coupent donc suivant la droite AC. D'où il résulte que les points de concours des pinceaux correspondants forment un élément linéaire dirigé suivant la droite AC au point de rencontre avec les rayons réfractés. C'est la seconde ligne focale. Le centre de jonction J est remplacé par le centre de courbure C. On voit que les deux foyers linéaires, bien que perpendiculaires entre eux, ne sont

pas tous deux perpendiculaires au rayon réfracté : le premier en B remplit cette condition ; le second suivant AC est oblique sur ce rayon.

La position de cette seconde ligne focale est définie par la distance b' au point d'incidence O. On trouve aisément la relation :

$$\frac{1}{\rho}(\cos i - n \cos r) = \frac{1}{a} - \frac{n}{b'}.$$

La construction s'étend naturellement, en se simplifiant, aux foyers astigmatiques par réflexion ; ces considérations s'appliquent avec une grande facilité à la discussion des aberrations dans les systèmes optiques.

Sur l'observation de la réfraction conique intérieure ou extérieure[1] ;

Par M. C. Raveau.

1. Dans l'étude des singularités de la surface des ondes de Fresnel, on considère uniquement des éléments abstraits, tels que : rayons isolés, cylindres et cônes de rayons ; cependant l'observation porte sur des faisceaux dont il convient de reconnaître la constitution pour se rendre compte des phénomènes.

Soit S le sommet d'un faisceau de rayons qui tombent sur une lame cristalline à faces parallèles dans des directions voisines de celles de l'axe optique AS.

On a supposé, pour faire la figure, que le point S était sur la face antérieure ; le déplacement qu'imprime à un rayon une lame à faces parallèles ne dépendant que de l'orientation de la lame, tout ce que nous allons démontrer est indépendant de cette position particulière.

Le rayon AS donne naissance, dans la lame, à un cône, et, à l'extérieur, à un cylindre du second degré C. Parmi les rayons voisins, il existe un cône singulier qui donne naissance, à la sortie, à un cône Γ dont le sommet est sur la seconde face de la lame, à l'intérieur du cylindre C. — La figure formée par le point S, le cylindre et le cône reste la même quelle que soit la position de S par rapport à la lame.

---

[1] Séance du 20 décembre 1901.

L'ensemble des rayons qui forment, à l'incidence, un faisceau conique autour de SA, se répartit, à la sortie, autour du cylindre C : nous pouvons le considérer alors comme formé d'un système de faisceaux élémentaires, ayant chacun pour axe une génératrice de C, et nous allons chercher la position des focales de ces derniers fais-

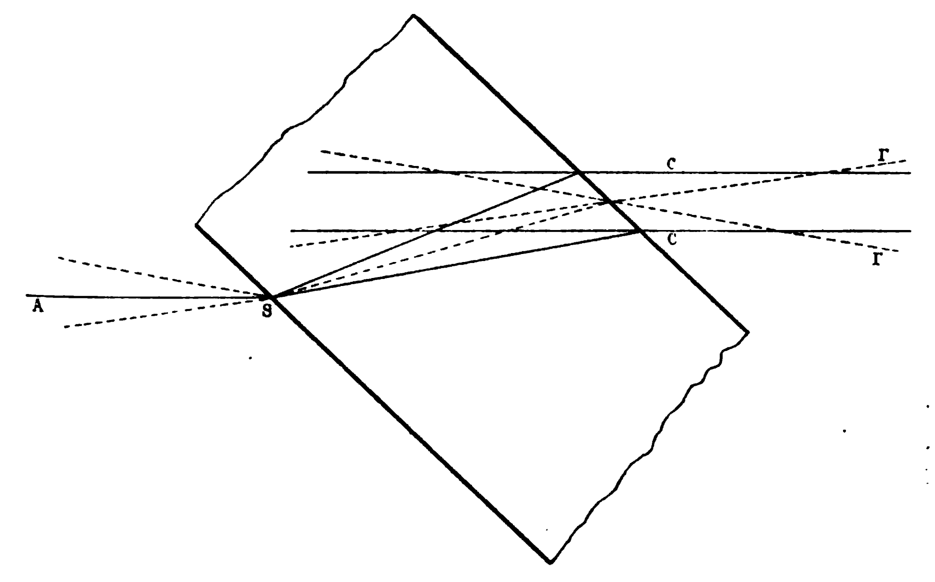


Fig. 1.

ceaux. L'une d'elles est à l'infini, où chaque génératrice rencontre la génératrice voisine; pour déterminer l'autre, qui est le point de concours d'une génératrice avec un rayon contenu sensiblement dans le plan normal au cylindre, remarquons que l'ensemble des rayons du faisceau émergent total est tangent aux deux nappes d'une surface caustique. Si nous avions considéré un faisceau traversant la lame suivant une direction très différente, il serait séparé, à la sortie, en deux autres faisceaux distincts, qui auraient chacun sa surface caustique particulière ; mais, dans cette région, où l'on passe d'une façon continue d'une nappe à l'autre de la surface d'onde, les deux surfaces caustiques se confondent en une seule.

L'une des nappes est nécessairement tangente à C et à Γ au voisinage d'une de leurs courbes d'intersection, vu la faible inclinaison des génératrices du cône sur celles du cylindre. Dans le cas particulier où la lame cristalline est normale à un plan de symétrie, l'un des

rayons suit la loi de Descartes; la focale des rayons contenus dans ce plan est à l'intérieur de la lame cristalline, si la source est sur la face antérieure; dans le cas général, on voit que le lieu des focales considérées sur le cylindre C est voisin de la courbe d'intersection de ce cylindre avec la nappe du cône Γ, qui s'ouvre vers le point S.

Si le faisceau incident a une petite ouverture, on peut donc considérer les rayons émergents comme répartis dans des plans normaux au cylindre C le long d'une génératrice et divergeant, dans chacun de ces plans, d'un point dont l'existence de la réfraction conique extérieure nous permet de déterminer approximativement la position.

Les deux rayons provenant du dédoublement d'un rayon incident quelconque SI sont contenus dans les deux plans normaux au cylindre C et parallèles à SAI.

2. Pour mettre en évidence la réfraction conique intérieure, on projette souvent un trou lumineux à travers une lame cristalline, au moyen d'une lentille; on obtient sur l'écran une ligne brillante grossièrement circulaire : c'est l'image de la ligne de contact du cylindre C avec la nappe de la surface focale dont il a été question plus haut. Si on élargit le faisceau qui éclaire le petit trou, on obtient plus d'éclat, sans diminuer sensiblement la netteté. Il est indifférent que les directions du cône de réfraction conique extérieure figurent ou ne figurent pas dans le faisceau. La seule particularité qui résulte de leur présence, c'est que, dans les faisceaux sensiblement plans qui concourent en chaque point de l'image, il y a un rayon du cône Γ. L'expérience prouve uniquement l'existence de la réfraction conique intérieure, tout comme le dispositif connu dans lequel on met un diaphragme dans le plan focal de la lentille d'observation, en éclairant par une source illimitée.

3. Si l'on mettait le diaphragme autour du sommet du cône Γ, on projetterait une ligne focale très voisine de la précédente, qui serait la courbe de contact de Γ avec la caustique; corrélativement à ce qui se produit dans le premier cas, on peut éclairer par un faisceau qui contienne la direction de l'axe optique sans rien changer aux apparences ni rien modifier à leur signification; il se trouvera seulement que, dans les faisceaux sensiblement plans qui concourent en chaque point de l'image, il y a une génératrice du cylindre C.

4. La seconde nappe de la surface caustique à laquelle sont tangents les rayons émergents voisins des génératrices du cylindre C a une forme singulière; elle est asymptote au cylindre et elle a un

point conique, qui est le sommet du cône Γ. Elle se réduit sensiblement, sauf à l'infini, à une ligne; en effet, les surfaces d'onde normales au faisceau émergent, étant normales à toutes les génératrices de C, le coupent suivant une section droite; toutes ces surfaces ont un plan tangent singulier comme la surface des ondes de Fresnel; elles n'ont pas d'ombilic, mais une ligne singulière certainement très resserrée, dont l'existence se traduit par celle d'une tache lumineuse très brillante, qui apparaît sur l'écran de projection quand on l'écarte de la position qui correspond à la courbe. L'apparition de cette tache brillante permet de reconnaître que l'orientation de la face cristalline est convenable. Elle disparaît au voisinage du plan focal de la lentille de projection.

5. Lorsque, dans l'expérience rappelée au paragraphe 2, le faisceau incident ne contient pas la direction de l'axe optique, la réfraction donne deux images du trou en forme d'arcs, qui s'allongent progressivement, jusqu'à se rejoindre quand le réglage est atteint.

Ces apparences s'expliquent si on remarque que les rayons qui concourent pour former un point de l'image sont contenus sensiblement dans un plan parallèle à l'axe optique. Les points correspondants au plan parallèle à cet axe qui passe par le rayon central du faisceau éclairant présentent un maximum d'éclat; la lumière s'éteint quand on arrive aux points relatifs aux plans tangents au cône qui limite le faisceau incident.

Ondographe (1);

Par M. E. Hospitalier.

L'ondographe est un appareil qui a pour objet d'enregistrer directement, à l'encre, sur une bande de papier, en fonction du temps, les courbes représentatives d'un phénomène électrique périodiquement et rapidement variable (force électromotrice, différence de potentiel, intensité, puissance, etc.).

Il est basé, en principe, sur une combinaison de la méthode par points successifs de M. Joubert, de la méthode stroboscopique et des appareils enregistreurs électriques.

(1) Séance du 20 décembre 1901.

Il se compose essentiellement :

1° D'un *moteur synchrone* à courants alternatifs simples actionné directement, ou après transformation convenable, par la source électrique dont on veut obtenir le tracé des variations périodiques des éléments ;

2° D'un *train d'engrenages* ayant pour objet d'imprimer à un coupleur ou commutateur tournant une vitesse angulaire telle que, lorsque le moteur a effectué un certain nombre de tours, ce commutateur en effectue un nombre égal (ou un multiple) *augmenté* ou *diminué* de 1. Il est préférable, pour que l'inscription de la courbe se trace dans le même sens que l'écoulement du temps, que le coupleur tourne moins vite que le moteur. Ce retard ou cette avance, essentiel au système, évite d'imprimer une rotation réelle aux balais du moteur ;

3° D'un *coupleur* ou commutateur automatique formé d'un noyau cylindrique en matière isolante portant un tube de cuivre ou de laiton convenablement découpé contre lequel appuient *trois* balais. Cet ensemble a pour objet de mettre un condensateur successivement en connexion avec : *a.* deux points des circuits où se passe le phéno-

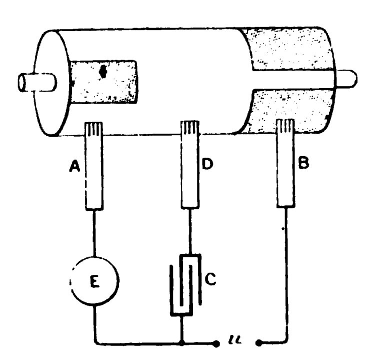


Fig. 1. — Couplage de l'ondographe dans le cas de l'emploi d'un condensateur. A, B, D, balais. — C, condensateur à capacité variable. — E, appareil enregistreur. — *u*, points d'application de la différence de potentiel périodique à enregistrer.

mène périodiquement variable à enregistrer ; *b.* un appareil de mesure. Dans la première opération, le condensateur se charge ; il se décharge dans l'appareil de mesure dans la seconde opération. Pour le tracé de la puissance, le coupleur se réduit à une simple barre conductrice fermant périodiquement le circuit une fois par tour sur

la bobine à fil fin de l'enregistreur par l'intermédiaire des deux balais. La *fig.* 1 montre le couplage des appareils dans le cas où l'on utilise un condensateur ;

4° D'un *condensateur* dont la capacité peut être constante ou variée à volonté par des fiches, afin de régler la sensibilité de l'appareil ;

5° D'un *appareil de mesure* approprié au phénomène à enregistrer.

Pour les différences de potentiel et les intensités, l'enregistreur est un appareil à cadre mobile de sir William Thomson, type différences de potentiel et des intensités, ce qui supprime l'emploi du Deprez-d'Arsonval, Weston, Chauvin et Arnoux, Meylan, etc., disposé horizontalement ou verticalement.

Pour les puissances, l'enregistreur est un wattmètre ordinaire : le courant périodique traverse la bobine primaire fixe d'une façon continue, tandis que la bobine mobile à fil fin est placée dans le circuit périodiquement fermé par le coupleur rotatif sur la différence de potentiel définissant le second facteur de la puissance. Le réglage se fait par l'introduction de résistances dans le circuit à fil fin.

La méthode directe peut s'appliquer également à l'inscription du condensateur; mais le condensateur présente certains avantages pratiques pour le réglage de la sensibilité.

Le wattmètre permet également l'enregistrement des courbes des différences de potentiel, en faisant traverser ses bobines fixes par un courant constant emprunté à une batterie d'accumulateurs.

Dans tous les cas, l'équipage mobile de l'appareil enregistreur reçoit une série d'impulsions dont la fréquence est égale à celle du courant à enregistrer. Il présente une inertie et un amortissement calculés pour que la position du cadre mobile à chaque instant corresponde à celle que lui ferait prendre le courant moyen correspondant à la quantité d'électricité qui le traverse pendant une période ;

6° D'un *enregistreur* cylindrique ou continu, commandé directement à la vitesse convenable par le moteur synchrone. L'enregistrement peut être quelconque : à la plume, à la roulette, au papier chimique, au papier fumé, etc. Le papier peut être monté sur un cylindre tournant, se dérouler sur des rouleaux, ou se déplacer longitudinalement dans le sens des génératrices d'un cylindre ayant pour axe celui de l'appareil de mesure et pour rayon la distance de la plume à l'axe.

Dans le modèle définitif représenté *fig.* 2 et construit par la *Compagnie pour la fabrication de compteurs et matériel d'usines à gaz*, à Paris, le moteur synchrone est constitué par un croisillon en fer doux lamellé se mouvant entre les jambes d'un électro-aimant en U dont la culasse porte un enroulement traversé par une dérivation du courant alternatif à étudier. Ce moteur absorbe 0,2 à 0,3 ampère sous 110 volts, mais avec un cos φ très petit.

Le moteur est lancé à la manivelle en utilisant un jeu d'engrenages qui permet d'atteindre facilement la vitesse angulaire correspondant au synchronisme. On constate que ce synchronisme est atteint en observant l'effet stroboscopique d'arrêt apparent d'un disque tournant portant un nombre convenable de secteurs alternativement blancs et noirs. Après l'accrochage, la manivelle se dégage automatiquement, par un dispositif analogue à celui de la manivelle d'un moteur d'automobile.

Le moteur commande le commutateur par un jeu convenable d'engrenages, combiné de telle façon que, lorsque le moteur a fait n tours, correspondant à n périodes, le commutateur fasse $(n - 1)$ tours seulement, avec un glissement régulier et uniforme.

Le train d'engrenages est combiné de telle façon que le retard soit de $\frac{1}{1000}$; c'est-à-dire que l'on inscrit l'onde alternative en un temps 1000 fois plus long que sa durée, soit 25 secondes, par exemple, pour un courant alternatif de fréquence 40.

Le condensateur peut être quelconque, en papier paraffiné ou en mica, et sa capacité n'a pas besoin d'être exactement connue : il suffit qu'elle reste constante pendant une expérience.

L'enregistreur est du type bien connu de Meylan à aimant normal, mais la commande de la plume présente un dispositif original intéressant et nouveau qui pourra recevoir des applications aux enregistreurs d'un système quelconque.

En effet, avec la plupart des enregistreurs à tracé direct, on est obligé de réduire la longueur de l'aiguille commandant la plume, afin que le frottement de la plume contre le papier ne fausse pas l'enregistrement d'une façon sensible ; l'emploi d'une aiguille courte commandant la plume à la manière ordinaire, nécessité par la faiblesse du couple directeur et le frottement de la plume, présente plusieurs inconvénients :

1° Les ordonnées curvilignes ont un rayon de courbure relative-

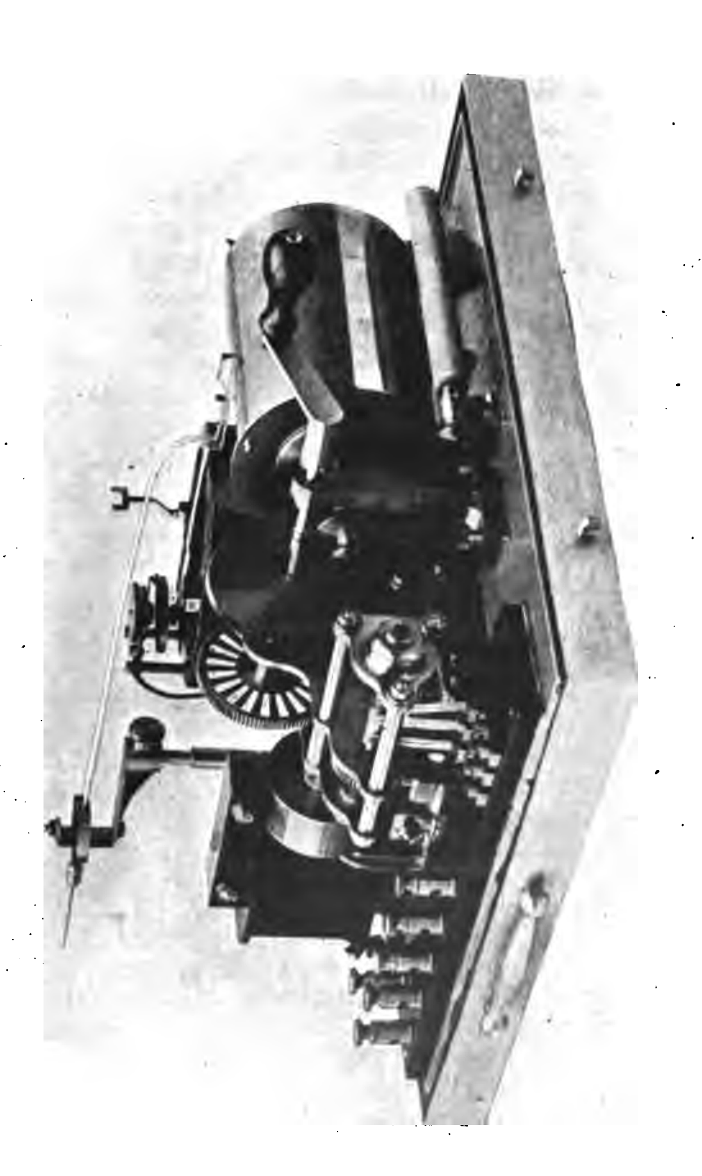


Fig. 2. — Vue d'ensemble.

ment petit, et la courbe enregistrée subit, de ce fait, une déformation souvent gênante;

2° La trajectoire curviligne décrite par la plume l'empêche de porter bien exactement sur tous les points du cylindre enregistreur, dont elle décrirait une génératrice si le rayon était infini. Dans ces conditions, une plume bien réglée inscrit par points dans certaines parties, appuie fortement sur le papier dans d'autres parties, et n'appuie plus du tout sur les parties correspondant aux plus longues ordonnées ;

3° La tige portant la plume devait être à la fois *rigide* pour la direction et *flexible* pour l'inscription ; il est difficile de réunir dans un même organe ces deux qualités contradictoires.

Pour réduire ces inconvénients dans une large mesure, nous employons un dispositif qui consiste, en principe, à séparer, tout en les laissant solidaires, l'organe de direction et l'organe d'inscription, et à réaliser, avec un système directeur de faible rayon, un enregistrement dont les ordonnées ont un rayon assez grand pour que l'inscription se rapproche sensiblement de celle que donnerait un enregistreur dont la plume décrirait un arc de cercle de rayon infini.

L'appareil d'enregistrement se compose de deux organes distincts : l'aiguille directrice et la plume d'inscription.

L'aiguille directrice est un levier rigide monté sur l'appareil de mesure, et dont l'extrémité la plus éloignée de l'axe de rotation se termine par une tige qui vient s'engager dans le levier portant la plume. Cette tige décrit, pendant l'enregistrement, le chemin que décrirait la plume de l'enregistreur ordinaire pendant la rotation du cylindre portant le papier.

La plume d'inscription est constituée par un levier de grande longueur, dont l'une des extrémités pivote autour d'un axe vertical parallèle à celui de l'enregistreur, mais en est éloigné d'une distance sensiblement égale à la différence des longueurs des deux leviers. Son autre extrémité se termine par une coulisse dans laquelle vient s'engager la tige de l'aiguille directrice, et se termine par la plume inscrivante, qui peut d'ailleurs être quelconque.

Dans ces conditions, pendant que la fourche décrit un arç de cercle de petit rayon, la plume décrit un arc de grand rayon : en donnant au levier qui la porte une longueur suffisante, cet arc peut, dans les limites de la longueur du cylindre, se confondre sensiblement avec la tangente en son milieu. Le point de contact de la plume avec le

papier s'éloigne ainsi fort peu d'une génératrice, et l'inscription se fait avec une égalité parfaite dans toute l'étendue du cylindre. La plume et son levier peuvent donc être proportionnés pour satisfaire aux conditions de souplesse et de réglage de l'inscription, et de l'inscription seule, puisque la direction de la plume est confiée à un autre organe auquel on donne, de son côté, toute la rigidité nécessaire pour remplir exactement cette fonction directrice.

Le levier portant la plume est articulé à son attache par un joint à la Cardan qui permet à la plume de se déplacer librement et d'exercer sur le papier une pression constante réglée par son propre poids en partie équilibré par son poids à vis mobile à volonté. L'axe vertical permet les déplacements pour la direction; l'axe horizontal, les légers déplacements en hauteur nécessités par le mouvement de la plume sur le cylindre enregistreur.

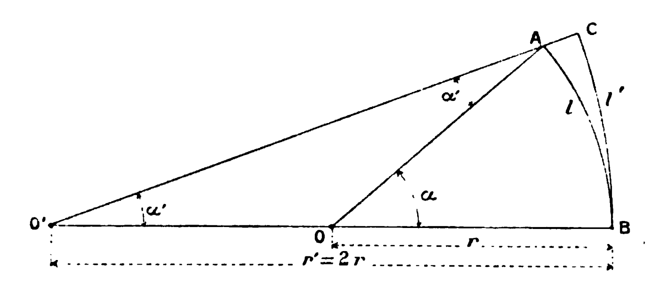


FIG. 3. — Redressement des ordonnées d'un tracé d'enregistreur.

Dans l'appareil réalisé, le levier directeur a 18 centimètres de longueur, tandis que le levier commandant la plume a une longueur double, soit 36 centimètres. Dans ces conditions, il est facile de démontrer que la différence de longueur entre les deux ordonnées curvilignes, l'une correspondant à la valeur théorique, pour l'aiguille de 18 centimètres, et l'autre à l'ordonnée redressée de 36 centimètres de longueur, est absolument nulle. En effet, si l'angle α décrit par l'appareil de mesure est proportionnel à la grandeur à mesurer, il est facile de voir sur la figure qu'en faisant $OO' = r = \frac{r'}{2}$, le triangle OO'A est isocèle; il en résulte que :

$$\alpha = 2\alpha'.$$

L'arc AB de longueur l est égal à l'arc BC de longueur l', et l'appareil reste rigoureusement proportionnel.

L'inscription de la courbe se fait presque rigoureusement sur la génératrice du cylindre enregistreur, et la plume, plus indépendante et plus facilement réglable, ne produit plus aucun raté d'inscription; le dispositif sera utilisé avec avantage dans tous les enregistreurs.

Dans l'appareil destiné à tracer la courbe de la puissance instantanée, courbe qu'aucun appareil n'avait tracée directement jusqu'à ce jour, nous employons, aux lieu et place de l'appareil de mesure à aimant, un compteur Thomson monté en wattmètre : l'axe est soumis à l'action des deux ressorts en spirale qui amènent le courant à l'induit mobile, ce qui supprime les balais. Le courant principal traverse les bobines fixes, et la bobine mobile à fil fin est mise en dérivation, une fois par période et pendant un instant très court, par l'intermédiaire du commutateur et des balais, avec la différence de potentiel définissant la puissance à mesurer. A cet effet, le commutateur tournant est constitué par un cylindre en ébonite dans lequel est incrustée, suivant une génératrice, une simple bande de laiton de logeur convenable.

Sous l'influence des impulsions successives que la bobine reçoit, par le fait des courants intermittents qui la traversent et du courant alternatif principal, la bobine fait avec sa position d'équilibre un angle proportionnel à la puissance, à chaque instant de la période définie par la position du commutateur, et entraîne directement ou indirectement la plume de l'enregistreur.

Cette proportionnalité résulte du fait que l'angle décrit par la bobine mobile autour de sa position d'équilibre ne dépasse jamais 10 à 12° de chaque côté du zéro; dans ces conditions, l'enroulement en tambour du wattmètre peut être considéré comme n'ayant subi aucun déplacement au point de vue des actions électrodynamiques.

Le disque d'aluminium du compteur sert à donner au système l'inertie et l'amortissement nécessaires au fonctionnement de l'appareil. Ce fonctionnement normal correspond, d'une part, à l'amortissement critique, et, d'autre part, à une durée d'oscillation comprise entre la période du phénomène à enregistrer et la durée de l'enregistrement d'une période.

L'ondographe actuellement réalisé est établi pour tracer une période complète en utilisant 1000 périodes successives. Le cylindre

enregistreur inscrit exactement trois périodes en un tour ; la quatrième se superpose à la première, la cinquième à la deuxième, etc.

La superposition des courbes est un indice certain du bon fonctionnement de l'appareil, bien qu'il puisse se produire quelquefois des écarts provenant d'un changement du régime survenu entre les 3000 périodes qui séparent deux passages successifs de la même génératrice du cylindre enregistreur sous la plume.

On peut, d'ailleurs, inscrire les courbes sur une bande continue d'une longueur de plusieurs mètres. Pour le faire commodément, il suffit d'attacher l'extrémité d'un rouleau de papier sur le cylindre enregistreur et de laisser s'enrouler sur le cylindre en le tendant par un léger freinage.

Avec l'appareil actuel, et à la fréquence de 40 périodes par seconde, une courbe complète occupe une longueur de 96 millimètres et s'inscrit en 25 secondes. Une bande de 6 mètres de longueur porte donc 60 périodes et inscrit le phénomène pendant vingt-cinq minutes, ce qui est bien suffisant, en général.

L'appareil se prête également à l'étude des courants redressés ou continus. Il suffit, pour cela, de substituer au moteur synchrone une commande directe en établissant une liaison mécanique invariable entre l'arbre de la machine à étudier et l'ondographe. L'appareil est étudié en vue de rendre le montage facile et rapide.

En réalisant l'*ondographe*, — ou, pour les puristes, le *cymatographe* — nous avons eu pour but de répondre à un besoin purement industriel et d'enseignement. L'appareil est robuste, d'un prix relativement peu élevé, d'un maniement facile, plus exact que la méthode par points, moins délicat et plus rapide que l'oscillographe ou le rhéographe, sans cependant prétendre au degré de précision atteint par ces derniers appareils.

L'ondographe sera surtout utile aux constructeurs de dynamos, de moteurs et de transformateurs ; aux usines centrales par courants alternatifs ; aux fabricants de câbles à haute tension, qui ont un si grand intérêt à connaître la forme des courants alternatifs auxquels leurs câbles sont soumis ; aux écoles industrielles et aux laboratoires de recherches et aux laboratoires d'enseignement, pour lesquels ils rendront visibles et immédiats des faits dont l'explication est souvent si difficile et si pénible.

Bien qu'il n'ait aucune prétention scientifique, l'ondographe est un

appareil pratique et qui rendra, nous en avons la conviction intime, de nombreux et utiles services à l'industrie électrique([1]).

([1]) *Antériorités.* — L'application de la méthode des points successifs à l'étude des alternateurs est due à M. Joubert (*).

Le condensateur a été appliqué par nous, en 1885, pour l'étude des dynamos à courant redressé de M. Anatole Gérard (**).

A la séance du 20 mars 1891 de la *Société française de Physique*, M. G. Weiss a dit qu'il utilisait un appareil pour déterminer par points ou d'une façon continue la forme de l'onde d'une machine dynamo : mais il n'a pas décrit l'appareil. M. P. Janet a annoncé, à la même séance, qu'il entreprenait des recherches du même genre, sans décrire davantage aucun dispositif.

M. Blondel a revendiqué la création d'un appareil enregistreur qui a été construit et décrit ultérieurement (***). L'appareil de M. Blondel trace bien des courbes, mais ces courbes sont enregistrées photographiquement et non pas directement, à l'encre, sur un cylindre enregistreur. De plus, les balais sont mobiles, tandis que les nôtres sont fixes, et l'appareil exige autant de galvanomètres distincts que de courbes à enregistrer, tandis que nous n'employons qu'un seul enregistreur pour les courbes. L'appareil de M. Blondel est commandé directement par la dynamo génératrice, tandis que le nôtre est actionné par un moteur synchrone, ce qui permet de l'installer rapidement en un point quelconque du circuit, et de supprimer le mouvement d'horlogerie commandant le dispositif stroboscopique.

Dans l'appareil de M. F. Drexler (****), le glissement est obtenu par un moteur asynchrone et l'inscription est obtenue par des étincelles. Le glissement d'un moteur asynchrone est trop variable et trop grand pour être utilement employé à l'inscription stroboscopique directe, et le dispositif ne permet pas le repérage exact de courbes tracées successivement, puisque le glissement n'est pas cinématiquement relié à la rotation du cylindre enregistreur.

M. A. Laws (*****) remplace le moteur asynchrone par un moteur synchrone, et donne un léger retard angulaire aux balais en les faisant tourner par un train d'engrenages : l'enregistrement se fait encore photographiquement.

Le seul appareil traçant directement une courbe de courant alternatif sur un cylindre enregistreur est celui de M. le professeur H.-L. Callendar(******).

L'appareil est basé sur le principe du potentiomètre et de l'enregistreur à relai et servomoteur bien connu de l'auteur. Le tambour est mû par un mouvement d'horlogerie, et l'inscription d'une courbe se fait en une heure, tandis que nous réalisons la même inscription entre dix et trente secondes.

L'ondographe se distingue des appareils précédents par le fait qu'il trace directement une courbe continue sur un papier d'enregistreur, sans photographie, sans mouvement d'horlogerie, sans relai, sans faire tourner de balais et sans utiliser le glissement essentiellement variable d'un moteur asynchrone fonctionnant à vide.

En ce qui concerne l'enregistreur de puissance instantanée, qu'on pourrait appeler un *électrodynamographe*, nous le croyons entièrement nouveau, car nous n'avons trouvé aucune indication d'un appareil analogue dans la littérature électrique.

(*) J. Joubert, Etudes sur les machines magnéto-électriques (*Annales de l'Ecole normale supérieure*, t. X, p. 151 ; 1881).

(**) E. Hospitalier, Les machines à courant périodique et leur mesure (*l'Électricien* du 19 décembre 1885).

(***) A. Blondel. Sur la détermination des courbes périodiques des courants alternatifs et leur inscription photographique (*la Lumière électrique*, t. XLI, pp. 401 et 507 ; 1891).

(****) F. Drexler, Ueber eine neue Methode zur selbsthätigen Aufzeichnung von Wechselstrom-Curven *Zeitschrift für Electrotechnik*, n° 8 ; 1896).

(*****) A. Laws, Alternating current wave recorder (*Western Electrician*, 23 février 1901).

(******) Hugh, L. Callendar, An alternating cycle-curve recorder (*The Electrician*, 26 août 1898).

Sur les oscillographes (1);

Par M. A. Blondel.

On peut définir les oscillographes des galvanomètres à oscillations extrêmement rapides (plus de 1.000 par seconde) et convenablement amorties, ne produisant pas d'effets parasites sensibles dans l'inscription des courants variables usuels à basse fréquence (2).

En faisant connaître, en 1893, la première solution de ce problème (3), j'ai signalé les conditions à remplir pour ces appareils, que je rappellerai brièvement :

Période d'oscillation propre aussi élevée que possible;

Suffisante sensibilité;

Amortissement voisin de l'amortissement critique;

Self-induction aussi faible que possible;

Absence de courants de Foucault et d'hystérésis.

La difficulté consiste principalement à concilier les deux premières conditions, qui sont opposées : on n'y arrive que par l'emploi d'équipages mobiles spéciaux d'inertie infiniment petite, d'artifices optiques permettant l'emploi de très petits miroirs. Quant à l'amortissement suffisant, il ne peut être obtenu que par l'emploi d'un bain d'huile où plonge l'équipage mobile.

A côté de ces difficultés, il s'en est présenté plusieurs autres pour faire disparaître peu à peu les complications d'emploi et surtout de réglage, permettre de transformer les déviations en courbes, de les inscrire, et réunir tous les organes multiples en un tout compact et maniable par le premier venu, malgré l'emploi de l'arc électrique.

Pour ne pas donner à cette note un développement exagéré, je ne raconterai pas tous les avatars successifs de mes appareils, pendant les dix années que je leur ai consacrées; je ne reviendrai pas non plus sur l'historique de la question générale de l'enregistrement direct des courbes des courants variables, que les membres de la Société ont pu lire déjà dans l'intéressante communication de notre collègue M. Armagnat et dans la communication que j'ai présentée sur ce sujet au Congrès international de Physique de 1900. Je

(1) Séance du 20 décembre 1901.

(2) Je ne parlerai donc pas ici de l'ingénieux rhéographe de M. Abraham, qui est fondé sur un principe différent et qu'il a déjà décrit dans ce recueil, il y a quelques années.

(3) *C. R. de l'Académie des Sciences*, 6 mars 1893.

m'attacherai plutôt à résumer les derniers perfectionnements et à montrer que la théorie de ces appareils des nouveaux types se ramène bien à celle des oscillographes à barreau de fer doux donnée autrefois.

Dans ma première communication [1], étaient signalés trois types d'oscillographes : l'oscillographe à barreau de fer doux, formé d'un très petit barreau polarisé par un champ puissant et soumis à l'action d'une bobine ; l'oscillographe bifilaire, formé de deux fils parallèles tendus dans un champ puissant et parcourus par le courant ; et l'oscillographe à languette vibrante, sorte de téléphone dont la membrane serait remplacée par une bande étroite de tôle fixée à l'un des pôles de l'aimant.

Mais, bien que j'aie réalisé, dès cette époque, les deux premiers types, mon étude avait porté plus particulièrement sur le premier. J'ai perfectionné le second depuis quatre ans, après que M. Duddell l'eut déjà amélioré par l'emploi de bandes de bronze plates au lieu de fils de cuivre ronds.

J'ai, en outre, indiqué, il y a deux ans, dans la communication du Congrès citée plus haut, un nouveau type que j'ai substitué au type à barreau de fer doux, et dans lequel le petit barreau polarisé, suspendu entre pivots ou par un fil de cocon, est remplacé par une mince bande de fer doux, encastrée aux extrémités et tendue par un ressort : les résultats obtenus par cette modification sont remarquables.

La présente communication comprendra deux parties : une description des plus récents modèles du type à bande vibrante et du type bifilaire et un exposé résumé de leur théorie comparée à celle de l'ancien type à barreau.

I. — Description des modèles nouveaux.

A. *Oscillographes à bandes de fer doux.* — Le grand avantage du système à bande, c'est que celle-ci est orientée non pas seulement par le champ magnétique, mais aussi par son élasticité propre de torsion, et que celle-ci suffit à lui donner déjà une période d'oscillation propre (vibrations tournantes) très courte. Aussi n'est-il plus nécessaire, pour produire le champ, de recourir à des

[1] *C. R. de l'Académie des Sciences*, 6 mars 1893.

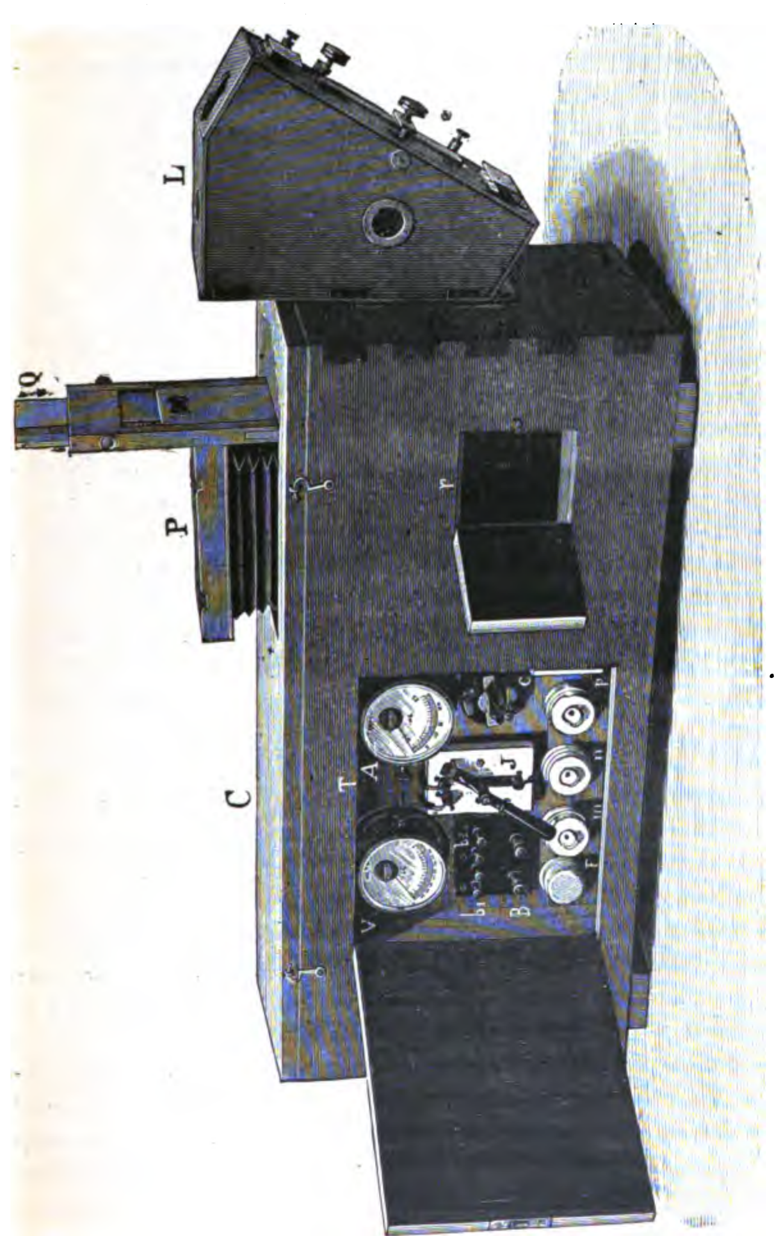


Fig. 1. — Vue extérieure de l'oscillographe à bande.

électro-aimants puissants, et de simples aimants bien proportionnés suffisent. Ce fait m'a permis de rendre l'appareil portatif, et, après des années de tâtonnements, de grouper tous les organes nécessaires dans une seule caisse toujours prête à mettre en service, et qui permet de voir les courbes par vision directe sur un écran, de les photographier en remplaçant l'écran par une glace sensible, ou de les projeter en remplaçant l'écran par un miroir à 45°.

Les *fig.* 1, 2, 3, 4, obligeamment prêtées par la *Revue générale des Sciences* (1), expliquent la disposition de cette boîte et la marche des rayons lumineux dans l'appareil. Ces rayons lumineux sont émis par un arc à courants continus, renfermé dans le projecteur spécial accroché derrière la caisse.

Ils sont concentrés par un condenseur sur une fente verticale (ou plusieurs fentes parallèles dans les oscillographes multiples), tombent sur le petit miroir collé sur l'équipage mobile de l'oscillographe derrière une lentille fixe, sont renvoyés sur une lentille cylindrique à génératrices horizontales, réfléchis par un miroir oscillant et reçus finalement sur l'écran horizontal placé au-dessus. La lentille cylindrique concentre le faisceau vertical très mince issu de la fente en un point très brillant, qui, en hauteur, est l'image du miroir de l'oscillographe par rapport à la lentille, et, en largeur, est l'image de la fente du projecteur par rapport à la lentille de l'oscillographe. On obtient ainsi un point très lumineux, malgré les dimensions trop faibles du miroir, qui ne dépassent pas 8/10 de millimètre en hauteur, quelques dixièmes de millimètre en largeur. Cette petitesse du miroir est un élément essentiel du succès, car c'est elle qui permet de réduire l'inertie au minimum.

Le miroir oscillant qui renvoie l'image sur l'écran est actionné par une came qui imprime aux rayons réfléchis un déplacement linéaire proportionnel au temps. Cette came est mue par un petit moteur synchrone à axe vertical ou horizontal, auquel est joint un dispositif obturateur qui masque la fente du projecteur pendant le mouvement de retour du miroir. L'ensemble s'appelle synchronoscope. La caisse porte dans un placard les appareils de manœuvre nécessaires pour envoyer les courants à étudier dans le ou les oscillographes et pour actionner le moteur sur la même distribution.

(1) Voir dans cette *Revue* une description plus complète, au numéro du 15 juillet 1901. Les modèles récents sont plus petits.

Dans certaines applications, ce moteur est remplacé par un simple

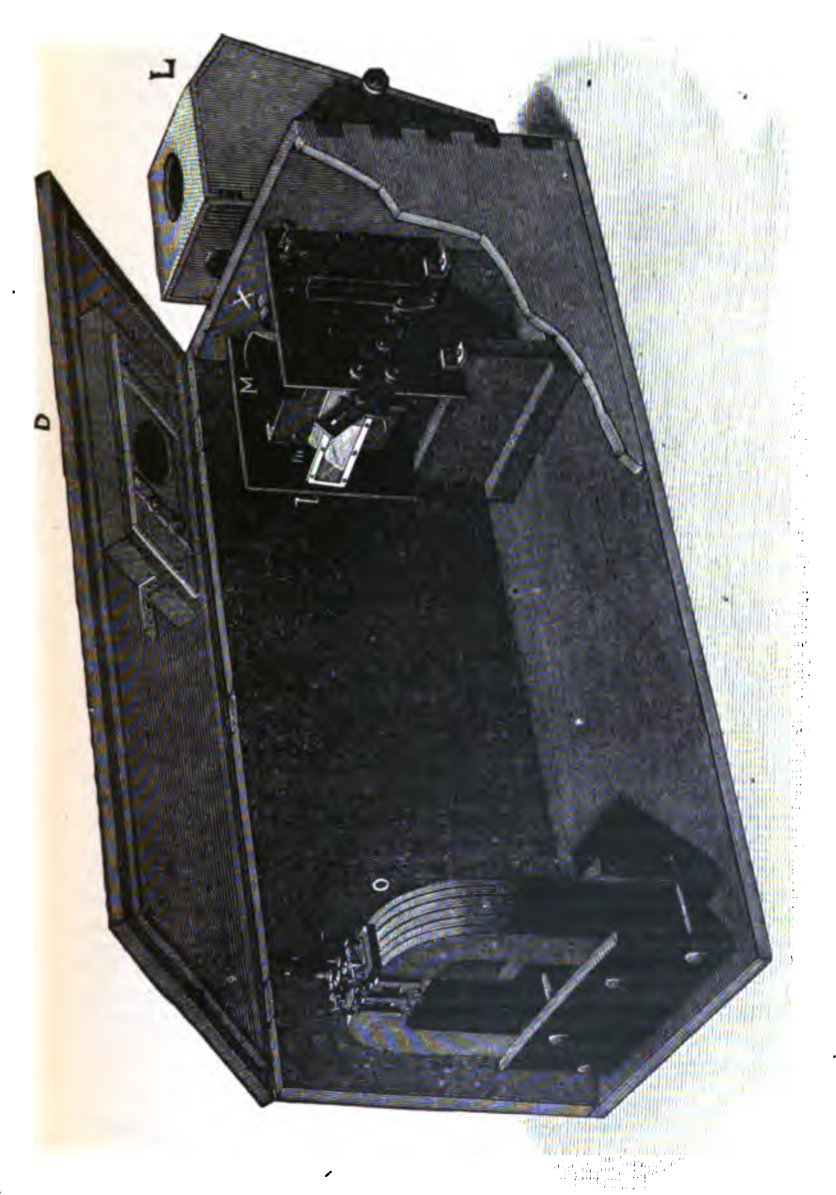


Fig. 2. — Vue intérieure d'un oscillographe double. — O, aimant à lames, portant à sa partie supérieure les deux oscillographes jumeaux ; D, chambre noire à soufflet ; *l*, lentille cylindrique ; *m*, miroir oscillant du synchronoscope ; M, disque obturateur monté sur l'arbre et tournant devant l'objectif ; X, objectif à lentille cylindrique fixé dans la paroi de la caisse et muni d'un diaphragme à trois fentes éclairant respectivement les miroirs des deux équipages mobiles et le miroir de repère.

moteur à courants continus.

Quant à l'oscillographe proprement dit, il est formé d'un fort aimant lamellé en fer à cheval, en acier d'Allevard, et d'une pièce rapportée entre les pôles, qui comprend, entre des paquets de tôles feuilletées et découpées convenablement, un, deux ou trois équipages

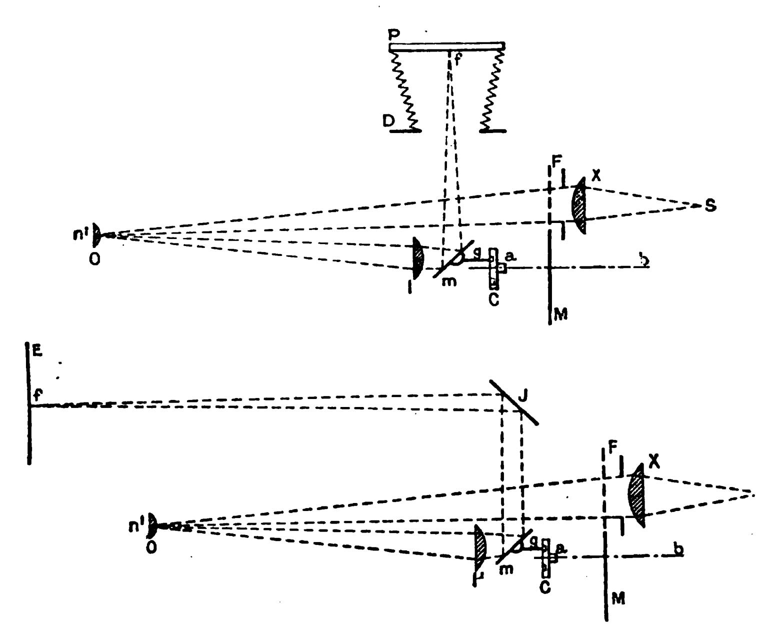


Fig. 3 et 4. — Schémas de la marche des rayons lumineux dans l'oscillographe « Kodak », soit pour le tracé et la photographie des courbes (*fig.* 3), soit pour leur projection dans un cours (*fig.* 4). — S, source de lumière (arc électrique) : X, objectif ou condenseur, à lentille cylindrique horizontale; F, diaphragme percé de fentes verticales éclairant chaque petit miroir *z*; *n*, miroir plan d'un équipage mobile; O, petite lentille plan-convexe de la boîte à huile; *l*, lentille cylindrique horizontale pour la concentration des rayons réfléchis; *m*, miroir oscillant à axe horizontal (perpendiculaire au tableau) commandé par un levier *g*; *ab*, arbre moteur; C, came calée sur cet arbre et agissant sur l'extrémité du levier *g*, et calculée de façon à ce que le déplacement du point lumineux *f* sur l'écran P soit proportionnel au temps; M, disque calé sur l'arbre *ab*. et échancré de façon à n'obturer les rayons que pendant le retour du point *f*; J, miroir qui remplace la chambre noire pour les projections; *l'*, lentille cylindrique à long foyer; E, écran de projection.

mobiles, suivant les cas, et autant de groupes de bobines (à gros fil ou à fil fin, suivant qu'on veut inscrire des courants ou des forces électromotrices). La *fig.* 5 représente une de ces pièces mobiles pour oscillographe double, et laisse voir sommairement le mode de construction de la boîte à huile qui contient l'équipage (formé d'une

bande de fer doux tendue sur un petit support pour le préserver contre la rouille et amortir les oscillations). Les huiles employées, et choisies par tâtonnement, sont en général les huiles de ricin ou de cèdre. Le réglage à l'amortissement critique se vérifie aisément en observant des courbes de rupture brusque de courant, qui doivent donner un

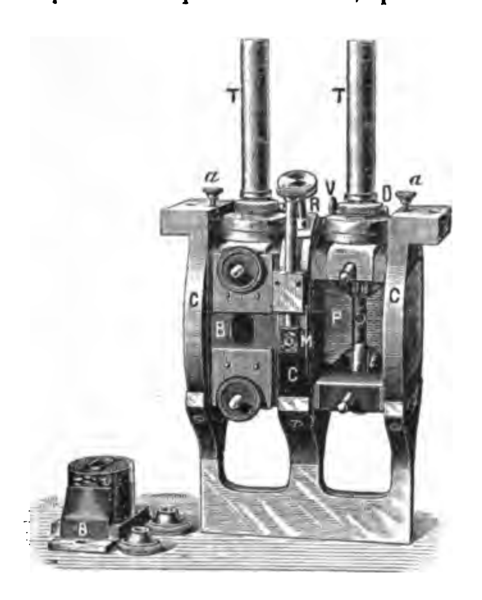


Fig. 5. — Pièce principale de l'oscillographe double à bande de fer doux. — C, support en bronze; P, pièces polaires feuilletées; T, tubes à huile; D, vis hélicoïdale réglant la hauteur des tubes; V, vis tangentes réglant l'orientation, au bouton d'arrêt de l'inclinaison en avant; M, miroir du repère; B, bobines.

angle droit au moment de la rupture. Le tube à huile est en verre avec monture métallique, et porte en avant une petite lentille encastrée derrière laquelle vient se placer le miroir collé au milieu de la bande. Celle-ci a, suivant les sensibilités ou fréquences désirées, une longueur de 10 à 30 millimètres et une largeur de 2/10 à 3/10 de millimètre, sur quelques centièmes de millimètre d'épaisseur. Les bobines sont encastrées dans les pièces polaires en fer doux, qui suppriment leurs actions mutuelles. Chaque élément est muni de trois réglages en hauteur, plongement et orientation. Un miroir de repère donne la ligne de zéro sur les clichés.

B. *Oscillographes bifilaires.* — Ils sont construits d'après des principes analogues. Pour les faibles sensibilités, j'emploie encore la

même disposition d'aimant permanent et de caisse, en remplaçant seulement l'aimant par un autre plus puissant et la pièce mobile de la *fig.* 5 par une autre, que représente la *fig.* 6 pour un appareil double. C'est une boîte en bronze contenant l'huile d'amortissement et dans les parois de laquelle sont incrustées des pièces polaires de concentration en fer, qui viennent s'appliquer contre les pôles de l'aimant. Elle porte des trous cylindriques verticaux dans lesquels s'engagent les supports d'équipage, et est fermée sur le devant par une lentille unique, servant à tous les équipages et au miroir de repère qui doit tracer la ligne zéro.

Chaque équipage est formé d'une bande de bronze, de cuivre ou d'aluminium, dont les extrémités supérieures sont attachées à deux tiges isolées portées par le support amovible, et dont la boucle du bas passe sur une petite poulie d'ivoire, fixée au même support par un ressort tendeur. Les tiges isolées servent pour l'amenée du courant,

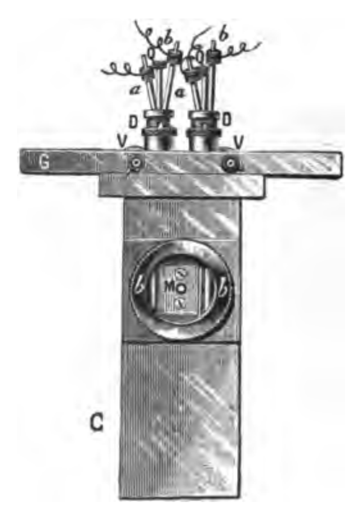


Fig. 6. — Pièce principale de l'oscillographe bifilaire double, se plaçant entre les pôles de l'aimant ou électro-aimant. — C, boite en bronze avec pièces de fer brasées à l'intérieur; G, plateau supérieur; *b*, *b*, bifilaires; M, miroir du repère; V, vis tangentes pour l'orientation; D, vis hélicoïdales pour le réglage en hauteur; Q, tige à bouton mobile pour le réglage du plongement; *a* et *b*, bornes d'entrée et de sortie des courants.

qu'on fait passer par des résistances ou shunts convenables, comme pour tout galvanomètre. Au milieu de la double bande et à cheval sur elle est collé le petit miroir.

Dans ce type comme dans le précédent, les supports, en forme de tubes, des équipages mobiles sont facilement visitables et interchangeables, et munis encore des trois réglages nécessaires.

L'oscillographe bifilaire, étant plus sensible que celui à fer doux et n'ayant aucune self-induction, convient plus spécialement aux travaux de laboratoire.

Pour les recherches demandant beaucoup de précision et de sensibilité, il est nécessaire d'employer des champs plus intenses. Dans ce, cas la pièce mobile de la *fig.* 6 est placée non plus dans un aimant, mais entre les pôles d'un puissant électro-aimant du type Faraday, étudié spécialement en vue de cette application. La caisse unique est alors remplacée par deux caisses réunies par un soufflet (*fig.* 7), dont l'une contient l'électro-aimant, et l'autre le miroir oscillant, et son moteur ou synchronoscope.

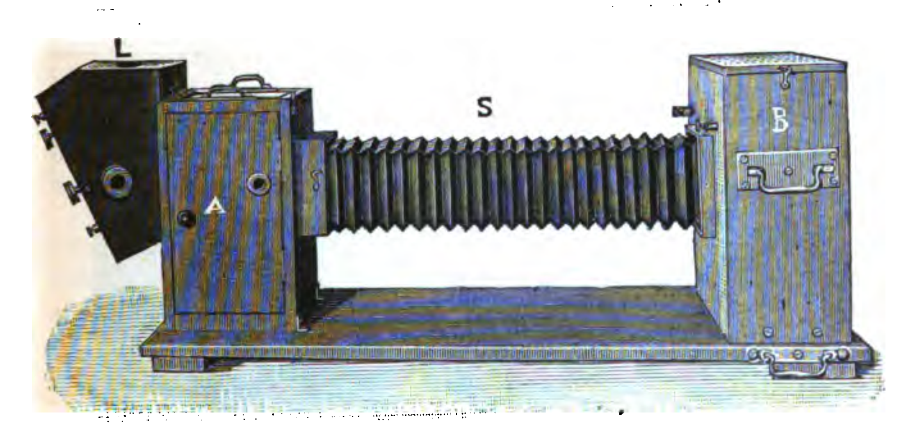


Fig. 7. — Vue d'ensemble de l'oscillographe bifilaire à électro-aimant pour laboratoires. — B, caisse contenant l'électro-aimant; S, soufflet en toile noire; A, caisse formant chambre noire et contenant le synchronoscope et l'écran photographique ; L, projecteur.

Je n'insisterai pas davantage ici sur les détails de la construction des oscillographes, j'ajouterai seulement qu'ils se prêtent à volonté à la photographie instantanée d'une courbe unique, au relevé d'un certain nombre de courbes successives superposées (cas intéressant pour l'étude des pulsations d'un phénomène périodique irrégulier) et même à l'enregistrement continu, cinématographique peut-on dire, d'un grand nombre de périodes. J'ai imaginé dans ce but

un châssis enregistreur à bande mû par moteur électrique, pouvant inscrire jusqu'à 100 périodes consécutives.

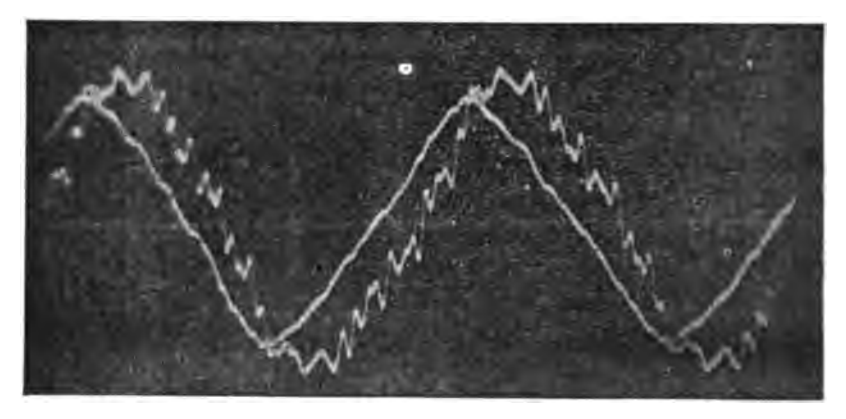


Fig. 8.

Les *fig.* 8 et 9 sont des reproductions de deux clichés instantanés obtenus sur plaques 9 × 12 et se rapportent au fonctionnement d'un



Fig. 9.

redresseur Leblanc n'ayant qu'un petit nombre de touches au collecteur.

Les sensibilités et les fréquences obtenues avec ces appareils sont en moyenne les suivantes :

Type industriel ordinaire à fer doux, à aimant, d'un usage limité aux courants supérieurs à 1/10 d'ampère et tensions supérieures à 25 volts : 6.000 à 10.000 périodes par seconde; 50 à 100 millimètres par ampère à 1 mètre ;

Type bifilaire à aimant : même fréquence; 100 à 200 millimètres par ampère à 1 mètre ;

Type bifilaire de laboratoire à électro-aimant : 10.000 périodes; 800 à 1.200 millimètres par ampère à 1 mètre ; — ou bien, fréquence, 2.500 périodes; sensibilité, 15 à 20 millimètres par milliampère à 1 mètre.

Avec des pièces de concentration dans le tube à huile, le type à fer doux peut atteindre 40.000 périodes pour l'appareil simple et 20.000 pour l'appareil double, la sensibilité étant, d'autre part, diminuée inversement au carré de la fréquence. Avec un électro-aimant, je me propose de réaliser prochainement un chronographe à bande vibrante donnant le 1/100.000 de seconde.

Un grand progrès a été réalisé, comme on le voit, depuis 1893, époque à laquelle j'atteignais seulement 1.000 à 2.000 périodes.

Je dois faire, du reste, revenir une bonne partie du mérite de ce progrès à l'habileté des constructeurs, et plus particulièrement : de MM. Dobkévitch et Nagel, qui m'ont prêté un concours aussi précieux que persévérant depuis quatre ans pour la mise au point pratique de tous les détails [1] ; de M. Werlein pour les tubes, les petits miroirs, etc. ; de M. Pellin pour les miroirs et les bandes ; enfin, plus récemment, de M. Carpentier, qui construit avec sa perfection ordinaire des modèles contenant plusieurs dispositifs ingénieux.

II. — Théorie des oscillographes.

Dans ce qui suit, je considérerai d'abord le cas le plus simple, celui des anciens oscillographes à barreau de fer doux, afin de pouvoir exposer sous une forme simple les principes et les formules générales auxquels je ramènerai ensuite l'étude des deux autres types décrits ci-dessus.

---

[1] Tous les appareils décrits ci-dessus ont été exécutés par eux d'après mes dessins. J'ai eu également, pour des types antérieurs, le concours excellent de mes assistants successifs MM. Jigouzo, Duris, Farmer, Tchernosvitoff.

A. — *Oscillographes simples* [1].

L'équipage mobile est soumis, comme pour tous les galvanomètres, à quatre actions simultanées :

1° Un couple déviateur GI proportionnel à la constante galvanométrique G et au courant à mesurer I ;

2° Une force antagoniste $C\theta$, sensiblement proportionnelle à l'écart angulaire θ ;

3° L'inertie K de la partie mobile, et

4° Une force d'amortissement $A \frac{d\theta}{dt}$, en général proportionnelle à la vitesse angulaire à chaque instant.

Le mouvement suit donc l'équation différentielle bien connue :

$$K \frac{d^2\theta}{dt^2} + A \frac{d\theta}{dt} + C\theta = GI. \tag{1}$$

Notre desideratum est que le mouvement périodique de la partie mobile suive une loi aussi voisine que possible de celle du courant observé, de façon qu'à chaque instant θ diffère aussi peu que possible de la valeur $\frac{GI}{C}$ qu'il devrait avoir sans les effets parasites qui accompagnent le mouvement. Ce problème de *synchronisation intégrale* est une application des théories générales de la résonance et une extension de celle de la *synchronisation simple* que M. Cornu [2] a traitée, il y a quelques années, d'une façon si lumineuse et si féconde.

Pour simplifier l'écriture et donner une forme plus parfaite aux formules, je désignerai dans tout ce qui suivra par $\Theta = 2\pi \sqrt{\frac{K}{C}}$ la période d'oscillation propre de l'instrument lorsqu'il n'est pas amorti, par λ la période réduite ou le rapport $\frac{\Theta}{T}$ de cette période à celle du courant à étudier T, par $\alpha = \frac{A}{2\sqrt{KC}}$ le degré d'amortissement de l'appareil (d'après une définition très commode de M. Curie), enfin

(1) Cf. A. Blondel, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, avril 1893, p. 748.
(2) A. Cornu, *Comptes Rendus*, 31 mai 1887.

par Θ' la pseudo-période de l'instrument amorti :

$$\Theta' = \frac{2\pi(2K)}{\sqrt{4KC - A^2}} = \frac{\Theta}{\sqrt{1 - \alpha^2}}.$$

L'intégrale complète s'obtient en ajoutant à l'intégrale particulière $\theta_1 = \frac{GI}{C}$ l'intégrale générale comprenant les termes exponentiels connus, d'où les expressions suivantes :

1° Dans le cas où $A^2 < 4KC$, c'est-à-dire avec un coefficient d'amortissement inférieur à l'unité ($\alpha < 1$) :

$$\theta = \theta_1 + e^{-\frac{A}{2K}t}\left[b_1 \sin \frac{\sqrt{4KC - A^2}}{2K} t + b_2 \cos \frac{\sqrt{4KC - A^2}}{2K} t\right]$$

$$= \theta_1 + e^{-2\pi\alpha\frac{t}{\Theta}}\left[b_1 \sin \frac{2\pi}{\Theta'} + b_2 \cos \frac{2\pi t}{\Theta'}\right]$$

ou

$$= \theta_1 + e^{-2\pi\alpha\frac{t}{\Theta}} b \sin 2\pi\left(\frac{t}{\Theta'} - \varphi\right)$$

en appelant b_1 et b_2 ou b ou φ deux constantes d'intégration;

2° Dans le cas où $A^2 = 4KC$ ($\alpha = 1$), amortissement critique :

$$\theta = \theta_1 + b_1 e^{\frac{-A}{2K}t} = \theta_1 + b_1 e^{-2\pi\frac{t}{\Theta}};$$

3° Dans le cas où $A^2 > 4KC$ ($\alpha > 1$), coefficient d'amortissement plus grand que l'unité :

$$\theta = \theta_1 + b_1 e^{-\frac{A + \sqrt{A^2 - 4CK}t}{2K}} + b_2 e^{-\frac{A - \sqrt{A^2 - 4KC}t}{2K}}$$

$$= \theta_1 + b_1 e^{-2\pi t\left(\frac{\alpha}{\Theta} - \frac{1}{\Theta'}\right)} + b_2 e^{-2\pi t\left(\frac{\alpha}{\Theta} + \frac{1}{\Theta'}\right)}.$$

Les exponentielles tendent vers zéro quand t croît indéfiniment, pourvu que l'amortissement ne soit pas nul. M. Cornu en a déduit la condition nécessaire et suffisante pour la synchronisation simple : $A > 0$, c'est-à-dire que, pour qu'un système oscillant se synchronise, il suffit que ses oscillations propres soient amorties.

La reproduction intégrale d'une courbe exige des conditions plus étroites :

1° Les phénomènes enregistrés présentent toujours des petits à-coups inévitables ou des discontinuités. Dans les deux cas, si l'on intègre à partir du moment d'un de ces effets perturbateurs, on voit

aisément que les conditions initiales n'annulent pas les termes de l'intégrale générale, comme cela a lieu en tout point où le phénomène est continu. Il en résulte, si le degré d'amortissement α est petit, que ces termes réveillent constamment les oscillations propres et que des *rides* ou houppes festonnent presque sans interruption les courbes [1]. Si l'on donne à α une valeur plus grande, mais inférieure à l'unité, les rides s'éteignent rapidement; mais chaque discontinuité de la fonction étudiée fait réapparaître quelques oscillations, comme le montre l'usage. Le meilleur degré d'amortissement dans ce dernier cas, c'est-à-dire dans la plupart des applications pratiques, est donc, au moins théoriquement, l'apériodicité critique $\alpha = 1$; car c'est cette valeur qui rend le plus rapidement négligeables les termes exponentiels, y compris le terme en t. Mais cette condition n'est pas rigoureuse, et l'on peut sans inconvénient admettre des amortissements plus faibles, toutes les fois que le nombre des oscillations propres dépasse 50 fois la fréquence des courants étudiés, comme cela doit être pour tout bon oscillographe; car les rides deviennent si rapprochées qu'elles forment de courtes houppes triangulaires, faciles à reconnaître et qu'il suffit de remplacer par leur ligne médiane pour obtenir le tracé vrai cherché.

Dans ces conditions, il vaut mieux se tenir un peu au-dessous de la valeur critique, car un petit défaut d'amortissement entraîne une moindre déformation qu'un excès d'amortissement.

2° Supposons les rides des termes exponentiels éliminées; il faut encore que la solution particulière qui subsiste diffère le moins possible de $\frac{GI}{C}$, c'est-à-dire que A et K soient le plus petits possible.

Supposons GI périodique et développable par la série de Fourier:

$$(2)\quad GI = B_0 + B_1 \sin\left(2\pi\frac{t}{T} - \beta\right) + \ldots + B_n \sin\left(2\pi\frac{nt}{T} - \beta_n\right).$$

L'intégrale particulière peut s'écrire sous la forme d'une nouvelle série :

$$(3)\qquad \theta_1 = \frac{1}{C}\left[B_0 + \Phi_1 + \Phi_2 + \ldots + \Phi_n + \text{etc.}\ldots\right],$$

dans laquelle le terme général de rang n a pour valeur (2), en dési-

(1) Voir, par exemple, *Comptes Rendus*, 6 mars 1893, p. 502 (*fig.* 1).

gnant le rapport $\frac{\Theta}{T}$ par λ :

$$(4)\quad \Phi_n = \frac{B_n \sin\left(2\pi \frac{nt}{T} - \beta_n - \psi_n\right)}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{2n\pi}{T}\right)\frac{2K}{C}\right]^2 + \left[\frac{2n\pi}{T}\frac{A}{C}\right]^2}} = \frac{B_n \sin(n\omega t - \beta_n - \psi_n)}{\sqrt{(1 - n^2\lambda^2)^2 + (2n\lambda\alpha^2)}}$$

avec

$$(5)\qquad \operatorname{tang} \psi_n = \frac{2n\pi}{T} \frac{A}{C\left[1 - \left(\frac{2n\pi}{T}\right)^2 \frac{K}{C}\right]} = \frac{2n\lambda\alpha}{1 - n^2\lambda^2}.$$

On voit que :

1° Les retards de phase subis par les divers harmoniques vont en croissant depuis la valeur $\frac{2\alpha}{1-\lambda^2}$ pour $n = 1$, jusqu'à $\frac{T}{2}$ pour $n = \infty$, en passant par la valeur $\frac{T}{4}$ pour $n = \frac{1}{\lambda}$; et ils sont d'autant plus grands que α est plus fort ; à ce point de vue, l'amortissement doit donc être réduit autant que possible, eu égard aux autres conditions du problème.

2° Les harmoniques supérieurs $\left(n > \frac{1}{\lambda}\right)$ sont affaiblis dans une proportion croissante avec n, tandis que les premiers harmoniques $\left(n < \frac{1}{\lambda}\right)$ subissent un renforcement variable, qui est maximum pour la valeur qui rend le dénominateur de Φ_n minimum. En annulant la dérivée de celui-ci, on trouve :

$$n' = \frac{\sqrt{1 - 2\alpha^2}}{\lambda}.$$

Ce numéro d'ordre de l'harmonique le plus renforcé est, comme on le voit, d'autant plus fort que α est plus petit. Le terme correspondant prend la valeur :

$$\Phi'_n = \frac{B_{n'} \sin(n'\omega t - \varphi_{n'} - \psi_{n'})}{2\alpha\sqrt{1 - \alpha^2}}.$$

avec

$$\operatorname{tang} \psi_{n'} = \frac{\sqrt{1 - 2\alpha^2}}{\alpha}.$$

Si l'amortissement était nul ($\alpha = 0$), l'instrument deviendrait donc

un résonateur parfait pour l'harmonique $n' = \frac{1}{\lambda}$. En tout cas, la résonance sera d'autant plus forte que α sera plus petit.

Il est donc nécessaire, pour éviter les phénomènes de résonance, qu'il y ait un amortissement ($\alpha > 0$) ; de plus, pour qu'aucun harmonique supérieur au premier ne soit renforcé, il faut et il suffit[1] que α soit $> \sqrt{\frac{1-\lambda^2}{2}}$ $\left(\text{ou sensiblement } \alpha > \sqrt{\frac{1}{2}}\right)$.

Si l'on substitue cette valeur $\alpha = \sqrt{\frac{1-\lambda^2}{2}}$ dans l'expression (4) de Φ_n qui devient :

$$\Phi_n = \frac{B_n \sin(n\omega t - \beta_n - \psi_n)}{\sqrt{(1 - n^2\lambda^2)^2 + 2n^2\lambda^2(1 - \lambda^2)}}$$

avec

$$\operatorname{tang} \psi_n = \frac{n\lambda\sqrt{1-\lambda^2}}{1 - n^2\lambda^2} ;$$

on voit que, λ étant petit devant l'unité, les déformations subies par l'harmonique de rang n ne dépendent plus sensiblement que du produit $n\lambda$.

Il en est de même si l'on choisit la valeur $\alpha = 1$ indiquée plus haut, ce qui donne :

$$\Phi_n = \frac{B_n \sin(n\omega t - \beta_n - \varphi_n)}{1 + n^2\lambda^2}$$

$$\operatorname{tang} \psi_n = \frac{2n\lambda}{1 - n^2\lambda^2}.$$

On devra donc faire $n\lambda$ aussi faible que possible, c'est-à-dire λ d'autant plus petit que I contient des harmoniques d'ordres supérieurs plus importants.

En résumé, si l'on tient compte des conditions indiquées successivement en considérant les deux parties de l'intégrale, on voit que :

1° Le *degré d'amortissement*, tout en restant aussi faible que possible, ne doit pas descendre, en général (sauf le cas d'une fonction

---

(1) Cette condition serait aussi remplie si on faisait un oscillographe à oscillation plus lente que celle du courant ($\lambda > 1$) ; mais il va sans dire que cette solution est étrangère à la question, car le dénominateur des termes de la série serait si grand qu'il donnerait lieu à une déformation énorme. Quand λ est très grand, l'appareil n'indique plus sensiblement que le terme fondamental avec un décalage d'autant plus voisin de $\frac{\pi}{2}$ que l'amortissement α est plus petit.

simplement harmonique), au-dessous des valeurs $\sqrt{\frac{1}{2}}$, dans le cas d'un phénomène pratiquement continu et sans à-coup ; ou 1 dans le cas contraire, c'est-à-dire dans le cas le plus général ;

2° La *période propre* d'oscillation de l'instrument doit être d'autant plus petite par rapport à celle du courant étudié que les harmoniques élevés sont plus importants dans la composition de celui-ci.

Lorsque la période est très rapide, les rides sont assez facilement reconnaissables et rectifiables pour permettre d'accepter des amortissements beaucoup plus faibles que la valeur critique et réduire ainsi la déformation des harmoniques supérieurs. Mais il faut se méfier ; car, si on est voisin de l'amortissement critique, les houppes se réduisent à un simple crochet difficile à reconnaître.

Nous allons voir maintenant comment, malgré leur complication beaucoup plus grande, les oscillographes bifilaires et à bandes de fer suivent les mêmes lois.

B. — *Oscillographe bifilaire.*

L'équation du mouvement vibratoire de l'oscillographe bifilaire s'établit de la façon suivante :

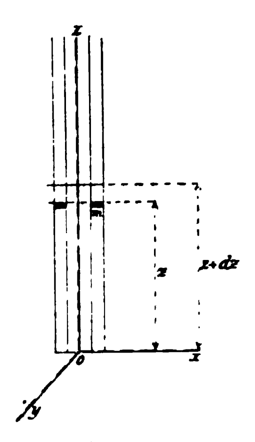


Fig. 10.

Prenons, comme axe des z, la ligne verticale médiane du système des deux bandes ; comme axe des x, la ligne horizontale moyenne

passant par l'extrémité du système, et comme axe des y l'axe perpendiculaire.

Considérons une tranche horizontale de la double bande à la distance z de l'origine, point d'attache du bifilaire, et un filet vertical ab de section $d\sigma$ à la distance r de l'axe oz. Quand le courant i passe dans le bifilaire, il est tordu, le couple déviant en un point m pour un élément dz est

$$\mathcal{H} \, . \, i \, . \, a \, . \, dr,$$

$\mathcal{H}$ étant le champ en ce point.

D'autre part, suivant la théorie générale de la torsion des prismes de Saint-Venant, la tranche d'épaisseur dz est soumise, sur ses deux faces horizontales, à deux autres couples différents :

$$- \mathrm{GJ}_1 \frac{d\psi}{dz},$$

et

$$\mathrm{GJ}_1 \left[\frac{d\psi}{dz} + d\left(\frac{d\psi}{dz}\right)\right],$$

ψ étant l'angle de torsion de cette tranche ; G, le coefficient d'élasticité de glissement $\left(\text{égal à } \frac{2}{5} \text{ E d'après Navier}\right)$; E étant le coefficient d'élasticité de traction ; J_1, un coefficient calculé par Saint-Venant. De plus, pour une torsion ψ, l'élément du filet ab considéré se trouve écarté de sa position de repos d'une distance y telle que : $y = r \, . \, \psi$, pour ψ très petit. Par suite, l'élément dz du filet ab est soumis à une force sensiblement perpendiculaire à o_1m et dont la valeur est, suivant une expression connue dans les vibrations transversales des cordes :

$$\frac{\mathrm{T}}{\sigma} \cdot d\sigma \cdot \frac{d^2y}{dz^2},$$

$\frac{\mathrm{T}}{\sigma}$ étant la tension par unité de surface ; $\frac{\mathrm{T}}{\sigma} d\sigma$, la tension pour une surface $d\sigma$.

Remplaçant y par $r \, . \, \psi$, il vient :

$$\frac{\mathrm{T}}{\sigma} \, . \, d\sigma \, . \, r \frac{d^2\psi}{dz^2} ;$$

cette force donne lieu à un couple autour de l'axe oz égal à :

$$r \, . \, \frac{\mathrm{T}}{\sigma} \, . \, d\sigma \, . \, r \frac{d^2\psi}{dz^2}.$$

Le couple résultant dans la tranche horizontale sera :

$$\frac{T}{\sigma} \cdot \frac{d^2\psi}{dt^2} \int r^2 d\sigma = \frac{T}{\sigma} \cdot \frac{d^2\psi}{dz^2} \cdot J,$$

J étant le moment d'inertie de la section autour de l'axe oz.

D'autre part, le moment des forces d'inertie est :

$$-\rho \cdot J \cdot \frac{d^2\psi}{dt^2} \cdot dz,$$

ρ étant la densité de la matière.

En tenant compte enfin de l'amortissement par un terme proportionnel à la vitesse $A \frac{d\psi}{dt}$, l'équation du mouvement devient :

$$(6) \qquad -\left(GJ_1 + J\frac{T}{\sigma}\right)\frac{d^2\psi}{dz^2} + A\frac{d\psi}{dt} + \rho J \frac{d^2\psi}{dt^2} = \mathcal{H} i a.$$

Le courant i qu'il s'agit d'étudier est une fonction périodique qu'on peut mettre sous la forme d'une série de Fourier impaire :

$$I = I_1 \sin(\omega t - \beta_1) + I_3 \sin(3\omega t - \beta_3) + \ldots + I_n \sin(n\omega t - \beta_n) + \ldots$$

Le champ magnétique $\mathcal{H}$, auquel le filet est soumis, est réparti sur la longueur l de la lame d'une façon variable, mais symétrique, par rapport au plan horizontal passant par le milieu du bifilaire. Nous pouvons le représenter par une série de Fourier impaire sans décalages :

$$\mathcal{H} = H_1 \sin\frac{\pi z}{l} + H_3 \sin\frac{3\pi z}{l} + \ldots + H_m \sin\frac{m\pi z}{l} + \ldots$$

de sorte que le second membre de l'équation peut être ramené dans tous les cas à une série de la forme :

$$\Sigma a H_m I_n \sin\frac{m\pi z}{l} \sin(n\omega t - \beta_n).$$

Le régime permanent établi, l'angle ψ aura évidemment pour valeur une série de la même forme :

$$\psi = \begin{cases} \sin\frac{\pi z}{l}\,[B_{1,1}\sin(\omega t - \varphi_1 - \psi_{1,1}) + B_{1,3} \cdot \sin(\omega t - \varphi_3 - \psi_{1,3})] + \ldots \\ + \sin\frac{3\pi z}{l}\,[(B_{3,1}\sin(\omega t - \varphi_1 - \psi_{3,1}) + B_{3,3}\sin(3\omega t - \varphi_3 - \psi_{3,3})] + \ldots \\ + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ + \sin\frac{m\pi z}{l}\,[B_{m,1}\sin(\omega t - \varphi_1 - \psi_{m,1}) + B_{m,3}\sin(3\omega t - \varphi_3 - \psi_{m,3})] + \ldots \\ + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots . \end{cases}$$

qu'on peut représenter plus simplement par :

$$\psi = \Sigma B_{m,n} \sin \frac{m\pi}{l} z \,.\, \sin (n\omega t - \beta_n - \psi_{m,n}),$$

car tout terme de ce genre peut satisfaire à l'équation différentielle, à la seule condition de déterminer les constantes $B_{m.n}$ et $\psi_{m.n}$.

Au point de vue physique, cela revient à dire que le bifilaire vibrera non seulement dans son ensemble, mais aussi se fractionnera en portions plus petites et impaires, dans lesquelles se produiront des vibrations parasites de *même fréquence* que les vibrations principales de l'ensemble de la bande.

Pour déterminer B et ψ, il suffit de substituer dans l'équation (1) et d'identifier. On trouve ainsi en faisant la substitution :

$$B_{m,n} \sin (n\omega t - \beta_n - \psi_{m,n}) \left[\left(GJ_1 + J \frac{T}{\sigma}\right)\left(\frac{m\pi}{l}\right)^2 \rho J (n\omega)^2\right]$$
$$+ An\omega B_{m,n} \cos (n\omega t - \beta_n - \psi_{m,n}) = aH_m \,.\, I_n \sin (n\omega t - \beta_n).$$

Posons pour simplifier :

$$P = \left(GJ_1 + J \,.\, \frac{T}{\sigma}\right)\left(\frac{m\pi}{l}\right)^2 - \rho J (n\omega)^2,$$
$$Q = n\omega t,$$
$$\beta_n - \psi_{m.n} = \gamma,$$

et identifions les coefficients de sin $n\omega t$ et cos $n\omega t$:

$$B_{m.n} (P \cos \gamma - Q \sin \gamma) = aH_m I_n \cos \beta_n$$
$$B_{m.n} (Q \cos \gamma + P \sin \gamma) = aH_m \,.\, I_n \,.\, \sin \beta_n,$$

d'où :

$$B_{m.n} = \frac{H_m I_n}{\sqrt{P^2 + Q^2}},$$

$$\text{tang}\, \gamma = \frac{P \sin \beta_n + Q \cos \beta_n}{P \cos \beta_n - Q \sin \beta_n} = \text{tang}\left(\beta_n + \text{arc tang}\, \frac{Q}{P}\right).$$

d'où :

$$\text{tang}\, \psi_n = \text{tang}\, (\gamma - \varphi_n) = \frac{Q}{P}.$$

Posons :

$$\left(GJ_1 + J \,.\, \frac{T}{\sigma}\right)\left(\frac{m\pi}{l}\right)^2 = C_m \text{ (couple de torsion élémentaire)},$$
$$\rho J = K \text{ (moment d'inertie de la section)}.$$

Il vient ainsi pour les valeurs de $B_{m.n}$ et tang ψ_n :

$$B_{m\,n} = \frac{H_m \,.\, I_n}{C_m \sqrt{\left(n\omega \dfrac{A}{C_m}\right)^2 + \left(1 - n^2\omega^2 \dfrac{K}{C_m}\right)^2}}.$$

$$\text{tang}\,\psi_n = \frac{n\omega A}{C_m\left(1 - n\omega \dfrac{K}{C_m}\right)}.$$

La condition pour que l'oscillographe soit bon est que les déviations au centre $\left(\frac{\pi z}{l} = \frac{\pi}{2}\right)$ diffèrent très peu, à chaque instant, de ce qu'elles seraient pour un courant constant de même valeur.

Or, pour déterminer les déviations statiques, il suffit, dans l'équation (6), de supprimer les dérivées par rapport à t, ce qui donne :

$$-\left(GJ_1 + J\,\frac{T}{\sigma}\right)\frac{d^2\psi}{dz^2} = \mathcal{H}ia\,;$$

le second membre étant une série dont le terme général est :

$$aiH_m \sin\frac{m\pi z}{l}\,;$$

le terme général $B_m \sin\frac{m\pi z}{l}$ correspondant s'en déduit par l'identification :

$$B_m\left(GJ_1 + J\,.\,\frac{T}{\sigma}\right)\left(\frac{m\pi}{l}\right)^2 = aiH_m,$$

d'où :

$$B_m = \frac{aiH_m}{\left(GJ_1 + J\,.\,\dfrac{T}{\sigma}\right)\left(\dfrac{m\pi}{l}\right)^2} = \frac{aiH_m}{C_m}.$$

La période d'oscillation propre Θ du bifilaire, qui s'obtient en faisant le second membre égal à 0 dans l'équation différentielle, a pour expression pour le bifilaire subdivisé en m sections vibrantes :

$$\Theta = \frac{2l}{m}\sqrt{\frac{J\,.\,\rho}{G\,.\,J_1 + J\,.\,\dfrac{T}{\sigma}}} = 2\pi\sqrt{\frac{K}{C_m}} = \frac{\Theta_0}{m},$$

Θ_0 étant la période fondamentale pour $m = 1$,

$$\Theta_0 = 2\pi\sqrt{\frac{J\rho}{\left(GJ_1 + J\dfrac{T}{\sigma}\right)\left(\dfrac{\pi^2}{l}\right)}}.$$

Si donc on désigne par λ le rapport $\frac{\Theta_0}{T}$ de la période Θ_0 à celle T du courant alternatif, α le coefficient d'amortissement $\left(\alpha = \frac{A}{\sqrt{4KC_m}}\right)$, on peut écrire pour B et ψ les expressions précédentes sous la nouvelle forme :

$$B_{m,n} = \frac{aH_m \cdot I_n}{C_m \sqrt{(2n\lambda\alpha)^2 + (1 - n^2\lambda^2)^2}}$$

$$\tang \psi_n = \frac{2n\lambda\alpha}{1 - \frac{n^2\lambda^2}{m^2}}.$$

Ces formules montrent que le terme correctif principal dû à l'inertie est d'autant plus faible que m est plus élevé. Si donc l'oscillographe est construit de façon que l'erreur due à l'inertie et à l'amortissement soit très faible dans l'hypothèse d'un champ sinusoïdal ($m = 1$), les erreurs seront encore plus faibles sur les termes additifs correspondant aux concamérations supérieures ($m > 1$).

Il suffit donc de rendre négligeable le dénominateur de $B_{m,n}$ et le décalage tang ψ_n pour $m = 1$, pour avoir un bon oscillographe.

On retombe ainsi sur des expressions semblables à celles trouvées pour l'oscillographe à barreau mobile.

On voit, de plus, que, si ces conditions sont remplies, il importe peu que la répartition du champ le long du bifilaire se fasse suivant une loi plutôt que suivant une autre; la plus simple théoriquement serait la forme sinusoïdale $\mathcal{H} = \mathcal{H}_0 \sin \frac{\pi z}{l}$. Mais, en général, on ne peut la réaliser.

La pratique a indiqué que, pour les bonnes mesures dans l'oscillographe à fer doux, il faut $\frac{T}{\Theta_0}$ voisin de 100, le degré d'amortissement étant au plus égal à l'unité. Les mêmes conclusions seront donc applicables à l'oscillographe bifilaire et au suivant.

Remarque I. — De Saint-Venant, dans l'étude des vibrations tournantes, n'a considéré que le cas d'un prisme sans tension ni amortissement. Dans ces conditions, il a trouvé pour équation du mouvement :

$$-\rho dz \,.\, J \frac{d^2\psi}{dt^2} + GJ_1 \, d\left(\frac{d\psi}{dz}\right) = 0;$$

d'où :

$$u^2 \frac{d^2\psi}{dz^2} = \frac{d^2\psi}{dt^2}, \quad \text{avec} \quad u^2 = \frac{G}{\rho} \cdot \frac{J_1}{J} = \frac{Gg}{\varpi} \cdot \frac{J_1}{J},$$

en appelant ϖ le poids spécifique, et g l'accélération de la pesanteur. f et φ étant deux fonctions arbitraires, la solution générale est donnée par la formule connue :

$$\psi = f(z + ut) + \varphi(z - ut).$$

Aux limites, pour $\psi = 0$, on a $x = 0$, $x = l$, relations satisfaites pour une fonction de la forme

$$\psi = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left(A \sin \frac{n\pi u}{l} t + D \cos \frac{n\pi u}{l} t \right) \sin \frac{n\pi}{l} z.$$

La vibration principale correspond au premier terme, donc

$$\psi = A \sin \frac{n\pi u}{l} t \sin \frac{\pi}{l} z;$$

par suite, la durée d'oscillation propre fondamentale est :

$$\frac{2l}{u} = 2l \sqrt{\frac{\varpi \cdot J}{G \cdot g \cdot J_1}}.$$

En tenant compte de la tension du prisme (mais négligeant le couple dû au courant et l'amortissement), mon équation (6) du mouvement devient, d'autre part :

$$- \rho J \frac{d}{dt} \left(\frac{d\psi}{dt} \right) + GJ_1 \frac{d^2\psi}{dz^2} + \frac{T}{\sigma} J \frac{d^2\psi}{dz^2} = 0,$$

ou :

$$\frac{d^2\psi}{dz^2} = v^2 \frac{d^2\psi}{dt^2},$$

en posant :

$$v^2 = \left(G \cdot \frac{J_1}{J} + \frac{T}{\sigma} \right) \frac{g}{\varpi},$$

ce qui revient à remplacer le coefficient de torsion de Saint-Venant GJ_1 par $\left(GJ_1 + J \cdot \frac{T}{\sigma} \right)$, $\frac{T}{\sigma}$ étant la tension par unité de section, comme on l'a dit précédemment.

On en déduit pour le nombre de vibrations l'expression :

$$N' = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{g}{\varpi} \cdot \left(G \cdot \frac{J_1}{J} + \frac{T}{\sigma} \right)}$$

ou :

$$N' = \sqrt{N^2 + N'^2},$$

en appelant N le nombre d'oscillations tournantes sans tension, N' le nombre d'oscillations transversales d'un brin tendu. Cette relation constitue un théorème nouveau sur les vibrations tournantes.

REMARQUE II. — *Influence de l'écartement des fils.* — Dans ce qui précède, on a supposé les deux bandes du bifilaire assez rapprochées pour pouvoir être assimilées à une seule bande fendue suivant son axe.

Si les fils sont un peu écartés, cette assimilation devient moins exacte.

On peut alors appliquer une remarque fort intéressante, due à Saint-Venant, à savoir que le couple de torsion d'un système de deux prismes tordus ensemble est sensiblement égal à la somme des couples de torsion de chacun séparément.

Dans les formules précédentes, il faudra donc poser, pour le coefficient de torsion :

$$J_1 = 2j_1,$$

j étant le coefficient de torsion de la section de chaque fil autour de son propre axe.

D'autre part, on exprimera le moment d'inertie J de l'ensemble des deux sections d'aire s en fonction des moments d'inertie j de chacune autour de leur axe et de la distance a des axes des deux brins :

$$J = 2j + 2s\left(\frac{a}{2}\right)^2 = 2\left(j + \frac{sa^2}{4}\right).$$

Il vient donc :

$$N = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{g}{\varpi}\left(G \cdot \frac{J_1}{J + \frac{sa^3}{4}} + \frac{T}{\sigma}\right)}.$$

Cette formule met en évidence une influence défavorable de l'écartement des deux fils. Cependant l'expérience donne quelquefois un plus grand nombre de vibrations quand les fils sont plus écartés; cela provient probablement du rôle joué par l'inertie du miroir.

Sensibilité du bifilaire. — La sensibilité est le rapport de la déviation ψ au courant i. On l'obtient en calculant la déviation maxima ψ au centre du bifilaire en fonction du couple déviant en chaque point (fonction de z) :

$$M = \mathcal{H}ia.$$

L'égalité entre le couple de torsion et le couple déviant donne :

$$-\left(GJ_1 + J\frac{T}{\sigma}\right)\frac{d^2\psi}{dz^2} = \mathcal{K}ia,$$

d'où :

$$\psi = \frac{1}{GJ_1 + J\cdot\frac{T}{\sigma}}\int_0^{\frac{h}{2}} dz \int_0^z \mathcal{K}ia\,dz;$$

donc :

$$\frac{\psi}{i} = \frac{l^2}{8}\,\frac{\mathcal{K}a}{G\cdot J_1 + J\cdot\frac{T}{\sigma}}.$$

Nous avons trouvé :

$$\Theta_0 = 2l\sqrt{\frac{J\rho}{GJ_1 + J\cdot\frac{T}{\sigma}}};$$

donc :

$$\frac{\psi}{i} = \frac{\mathcal{K}a\Theta_0^2}{32\cdot J\cdot\rho}.$$

Si $\mathcal{K}$ varie suivant la loi sinusoïdale $\mathcal{K}\cdot\sin\frac{\pi z}{l}$, on voit que :

1° La sensibilité varie, pour une même section de bifilaire, comme le carré de la fréquence propre;

2° A égal nombre de vibrations propres, la sensibilité est indépendante de la longueur l et de J_1; le bifilaire le plus sensible est celui qui a la plus faible densité et le plus faible moment d'inertie.

Cette sensibilité peut encore être envisagée à un autre point de vue. Si le courant i dont on dispose n'est pas limité (par exemple dans les oscillographes-ampèremètres montés en dérivation sur une résistance parcourue par le gros du courant), on peut forcer la dérivation jusqu'à des valeurs capables de fondre le bifilaire. On peut alors définir la sensibilité par le rapport de la déviation maxima à l'échauffement.

Soient : Δ, la densité du courant ; ν, la résistance spécifique ; σ, la section de chaque fil ; p, le périmètre de la section. On peut écrire :

$$\psi = \frac{\mathcal{K}\cdot\Delta\cdot\sigma\cdot a\cdot\Theta_0^2}{32\cdot J\cdot\rho}.$$

Admettons que l'échauffement est proportionnel à $\Delta\sqrt{\nu}\cdot\frac{\sigma}{p}$; la sen-

sibilité à égal échauffement est donc proportionnelle à :

$$\frac{1}{32} \cdot \frac{\mathcal{H} \cdot \Theta_0^2 ap}{J \cdot \rho \cdot \sqrt{v}}.$$

Elle est maxima quand on emploie le métal ayant le plus petit produit $\rho\sqrt{v}$, et sous forme de bande très plate.

C. — *Oscillographe à bande de fer tendue dans un champ uniforme.*

Nous appliquerons les mêmes équations générales de vibrations tournantes en tenant compte seulement en plus du couple directeur du champ magnétique. Nous conservons donc le même système des coordonnées et les mêmes notations que pour le bifilaire considéré comme système vibrant. Pour simplifier, nous supposerons le champ uniforme sur toute la longueur de la bande, hypothèse peu éloignée de la réalité.

Pour une bande rectangulaire de largeur b, d'épaisseur c et de hauteur dz, le couple directeur dû au champ magnétique est :

$$\psi\mathcal{H} \cdot \mathfrak{I} \cdot bc \cdot dz,$$

ψ étant la déviation angulaire supposée infiniment petite, et $\mathfrak{I}$ l'intensité d'aimantation.

Le couple déviant produit par les bobines peut être représenté de même par une expression :

$$\Gamma i \mathfrak{I} bcdz,$$

dans laquelle Γ est une fonction de z, parce que l'action des bobines va en diminuant à partir de leur axe jusqu'à leur périphérie.

L'équation du mouvement peut donc s'écrire :

$$-GJ_1 \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} + \psi\mathcal{H}\mathfrak{I}bc + A\frac{d\psi}{dt} - \rho J \frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = \Gamma i \mathfrak{I} bc.$$

On développerait, comme plus haut, le second membre en série, en posant :

$$\Gamma i = \Sigma \Gamma_m I_n \cdot \sin\frac{m\pi}{l} z \sin(n\omega t - \varphi_n),$$

$$\psi = \Sigma \frac{\Gamma_m I_n \mathfrak{I} bc}{C_m\sqrt{(2_n\lambda\alpha)^2 + (1 - n^2\lambda^2)^2}} \sin(n\omega t - \beta_n) \sin\frac{m\pi z}{l},$$

et on en déduit pour ψ une série analogue à celle du bifilaire.

La seule différence résulte de la présence d'un terme en ψ au premier membre, dont l'effet est de remplacer l'expression C_m donnée plus haut par la suivante :

$$C_m = \left(GJ_1 + J\frac{T}{\sigma}\right)\left(\frac{m\pi}{l}\right)^2 + \mathcal{H}\mathfrak{I}bc.$$

La période principale d'oscillation devient ainsi :

$$\Theta_0 = 2\pi\sqrt{\frac{J\rho}{C}},$$

ou le nombre de vibrations doubles :

$$N = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C}{J\rho}},$$

en posant comme expression du coefficient de torsion d'un élément dz :

$$C = \left(GJ_1 + J\frac{T}{\sigma}\right)\left(\frac{\pi}{l}\right)^2 + \mathcal{H}\mathfrak{I}bc;$$

d'où:

$$\Theta_0 = 2l\sqrt{\frac{J\rho}{GJ_1 + J\cdot\frac{T}{\sigma} + \left(\frac{l}{\pi}\right)^2\mathcal{H}\mathfrak{I}bc}}.$$

Le nombre des vibrations

$$N = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{GJ_1 + J\cdot\frac{T}{\sigma} + \left(\frac{l}{\pi}\right)^2\mathcal{H}\mathfrak{I}bc}{J\rho}}$$

peut donc s'exprimer en fonction des nombres de vibrations N′, N″, N‴, que donneraient séparément la torsion seule, l'aimantation seule, la tension seule, par la formule :

$$N = \sqrt{N'^2 + N''^2 + N'''^2},$$

qui généralise le théorème énoncé plus haut, en posant:

$$N' = \frac{bc}{(b^2 + c^2)l}\sqrt{\frac{2}{5}E\mu'\cdot\frac{g}{\varpi}} \quad \text{(torsion seule)},$$

$$N'' = \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{3g}{\varpi}\cdot\frac{\mathcal{H}\mathfrak{I}}{b^2 + c^2}} \quad \text{(aimantation seule)},$$

$$N''' = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{\sigma}\cdot\frac{g}{\varpi}} \quad \text{(tension seule)},$$

ϖ étant le poids spécifique de la bande, et μ' un coefficient spécial

déduit de l'expression de Saint-Venant :

$$J_1 = \frac{\mu'}{3} \frac{b^3c^3}{b^2 + c^2};$$

μ' reste constant quand $\frac{b}{c}$ reste fixe ; dans ce cas, il ne dépend que de la longueur de la bande.

Avec ce simple changement, les valeurs de tang ψ_n et du dénominateur de $B_{m.n}$ données pour le bifilaire sont conservées ; le numérateur est remplacé par le produit $\Gamma_n i \,.\, \mathfrak{H} \,.\, b \,.\, c$.

La *sensibilité* se mesure par l'angle ψ au milieu du bifilaire pour $m = 1$:

$$\psi = \frac{1}{C} \int_0^{\frac{l}{2}} dz \int_0^z \Gamma i \mathfrak{H} bc dz.$$

Si nous supposons Γ constant sur toute la hauteur, on en déduit :

$$\frac{\psi}{i} = \frac{\pi^2}{8C} \Gamma \mathfrak{H} bc = \frac{\Gamma \mathfrak{H} bc}{32 J \rho} \cdot \Theta_0^2;$$

mais :

$$J = \frac{bc}{12} (b^2 + c^2),$$

d'où :

$$\frac{\psi}{i} = \frac{3}{8} \cdot \frac{\Gamma \mathfrak{H} \Theta_0^2}{\rho (b^2 + c^2)}.$$

Si on suppose, au contraire, que Γ ne soit pas constant et soit représenté par :

$$\Gamma = \Gamma_1 \sin \frac{\pi z}{l},$$

on trouve :

$$\frac{\psi}{i} = \Gamma_1 \cdot \frac{\mathfrak{H} bc}{\left(\frac{l}{2\pi}\right)^2 C} \int_0^{\frac{l}{2}} \frac{l}{\pi} \left(1 - \cos \frac{\pi z}{l}\right) dz$$

$$= \Gamma_1 \cdot \frac{\mathfrak{H} bc}{C} \pi \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi}\right) = \frac{\Gamma_1 \mathfrak{H} bc}{8 J \rho} \frac{\pi - 2}{\pi^2} \cdot \Theta_0^2,$$

ou :

$$\frac{\psi}{i} = 3 \left(\frac{\pi - 2}{2\pi^2}\right) \frac{\Gamma_1}{\rho} \frac{\mathfrak{H} \,.\, \Theta_0^2}{b^2 + c^2},$$

valeur inférieure à la moitié de la précédente.

Dans le cas de l'oscillographe *à barreau* de fer doux, on aurait

trouvé :

$$\Theta_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I\rho}{\mathcal{H} . \mathfrak{d} . b . c}},$$

d'où :

$$\frac{\theta}{i} = \frac{\Gamma}{\mathcal{H}} = \Gamma . \frac{\Theta_1{}^2 \mathfrak{d} bc}{I\rho(4\pi^2)} = \frac{3\Gamma\mathfrak{d}}{\pi^2\rho} . \frac{\Theta_1{}^2}{b^2 + c^2}.$$

Comparons les sensibilités pour l'oscillographe à barreau de fer doux et celui à bande vibrante avec même champ et même bobine ; on a, en faisant $\Theta_1 = \Theta_0$,

$$\frac{\psi}{\theta} = \frac{\pi - 2}{2}.$$

La sensibilité paraîtrait donc devoir être à peu près la même avec la bande vibrante qu'avec le barreau de fer doux, à nombre de vibrations égales, en supposant que l'on puisse obtenir cette égalité.

Mais, en réalité, il n'en est rien, parce que l'effet de l'inertie du miroir, dont ces formules simplifiées ne tiennent pas compte, est beaucoup plus faible avec le dispositif à bande qu'avec le barreau de fer doux. En outre, la saturation de celui-ci ne peut être obtenue qu'en le faisant très petit et le suspendant par une fibre de quartz ou un fil de cocon, dont l'élasticité de torsion a une valeur relative assez grande pour réduire beaucoup la sensibilité.

Du reste, le fer doux seul ne permet pas d'atteindre les grands nombres de vibrations obtenus avec la bande vibrante.

On peut, dans certains cas, combiner les deux dispositifs en collant, au milieu de la bande, un petit barreau de fer doux supplémentaire de même section que la bande. Mais je n'y ai pas trouvé d'avantages. D'ailleurs, quand la tension de la bande est très faible et qu'elle est très mince, elle équivaut sensiblement à un barreau simplement suspendu.

Le cadre restreint de cette communication me force à limiter à ces indications générales l'étude théorique des oscillographes et à laisser de côté ici l'étude de leur degré de précision, de leurs corrections et de leurs applications.

Je dirai seulement qu'ils s'appliquent bien pour l'étude des courants alternatifs jusqu'aux fréquences de 200 périodes et même 300, pour certains types, et qu'en adaptant aux oscillographes bifilaires un système de correction électromagnétique inspiré de celui du rhéo-

graphe Abraham, on peut aller beaucoup plus loin, ainsi que je l'ai déjà signalé [1].

Quant aux applications des oscillographes, elles s'accroissent chaque jour; les premières ont été faites pour l'étude de l'arc électrique par l'auteur [2], de 1892 à 1898, et, plus récemment, par MM. Duddell et Marchant [3]. Plusieurs industriels les emploient pour l'étude des alternateurs, et des physiologistes pour l'étude de l'électrophysiologie. En Amérique, Hotschkiss, Millis et Mac Kittrick en ont tiré quelques résultats intéressants dans l'étude des courants de rupture [4]. Devant la Société, notre collègue M. Armagnat les a utilisés avec succès pour une très ingénieuse méthode d'analyse des harmoniques des courbes de courants alternatifs.

On peut dire, sans exagération, qu'ils ouvrent aujourd'hui tout un champ d'études nouvelles dans les laboratoires d'électricité et d'électro-physiologie et les ateliers de construction de machines. Plusieurs Universités de France et de l'étranger en font, dès maintenant, usage.

Application des oscillographes à la méthode de résonance [5];

Par M. H. Armagnat.

1. Un courant périodique quelconque peut toujours être représenté par une série de Fourier, telle que :

$$(1)\quad y = a_0 + A_1 \sin\omega t + A_2 \sin 2\omega t \ldots + A_n \sin n\omega t + B_1 \cos\omega t + B_2 \cos 2\omega t \ldots + B_n \cos n\omega t,$$

ou encore, en écrivant :

$$a_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \qquad \text{et} \qquad \operatorname{tang}\varphi_n = \frac{B_n}{A_n},$$

$$(2)\quad y = a_0 + a_1 \sin(\omega t + \varphi) + a_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) \ldots + a_n \sin(n\omega t + \varphi_n).$$

---

(1) *Sur les progrès des oscillographes* (*Industrie électrique*, 1899).

(2) A. Blondel, *Recherches sur l'arc à courants alternatifs* (*Lumière électrique*, septembre-octobre 1893; — et *C. R.*, décembre 1898 et mars 1899).

(3) Duddell et Marchant, *Experiment on alternate current arcs* (*Proc. Inst. of Electrical Engineers*. Londres, février 1899).

(4) Hotschkiss et Millis, *Physical Review*, t. III; 1896, p. 49-358; — et t. IV, p. 128.

(5) Séance du décembre 1901.

En résumé, le courant périodique est représenté par la somme d'une série de sinusoïdes, variables en nombre et en grandeur, qui sont des *harmoniques* de la fonction principale $a_1 \sin(\omega t + \varphi)$. Dans le cas des courants alternatifs, on prend comme fonction principale celle qui correspond à la période du courant essayé. Si T est la durée de cette période, la *fréquence* est $\frac{1}{T}$ et :

$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Les variations de plus longue période, par exemple celles qui sont dues à l'irrégularité des moteurs à vapeur, sont ordinairement négligées ; leur examen rentre dans l'étude mécanique de la machine.

Dans les courants alternatifs *symétriques*, le terme a_0 disparaît ; il ne reste que les termes en sinus et cosinus.

Pour obtenir l'équation complète de la courbe, il faut connaître les coefficients $a_1, a_2, \ldots, a_n$, qui ne sont autre chose que les *demi-amplitudes* des sinusoïdes composantes, l'*ordre* n et enfin la *phase* φ_n de chaque harmonique. Dans le cas de (1), il faut connaître les coefficients A_n et B_n de chaque harmonique, et la phase est donnée par leur rapport.

Deux méthodes différentes peuvent être employées pour déterminer cette équation. Si l'on a relevé, par points ou à l'aide des instruments automatiques : ondographe, oscillographe ou rhéographe, la courbe du courant étudié en fonction du temps, on peut, à l'aide des procédés graphiques ordinaires, déterminer les constantes ci-dessus. Malheureusement, les courbes ainsi obtenues n'ont jamais une finesse et une netteté suffisantes pour permettre cette analyse, à moins que les harmoniques cherchés soient relativement importants et d'ordre peu élevé. De plus, les courbes obtenues sont toujours faussées par les accidents *non périodiques*, que l'on ne peut éviter, et ces perturbations risquent d'apporter beaucoup de trouble dans l'analyse.

La *fig.* 1 met bien en évidence la difficulté d'obtenir sur une courbe l'indication de l'ordre et de la grandeur des harmoniques. Les deux courbes représentent le courant inducteur et le courant induit dans un petit transformateur à circuit magnétique ouvert. Le courant est fourni par une commutatrice dont la force électromotrice est représentée par la courbe dentelée des *fig.* 5 à 9. La self-induction

relativement considérable du primaire et la présence du fer saturé ont fait disparaître les dentelures, de sorte que le courant inducteur présente la forme presque triangulaire que l'on voit ici. Néanmoins les harmoniques que nous retrouverons plus loin existent encore et on les voit très amplifiés dans le courant induit; cependant l'examen de la courbe du courant inducteur permet difficilement de prévoir leur existence. Il y a même, en plus, l'harmonique trois dû au fer.

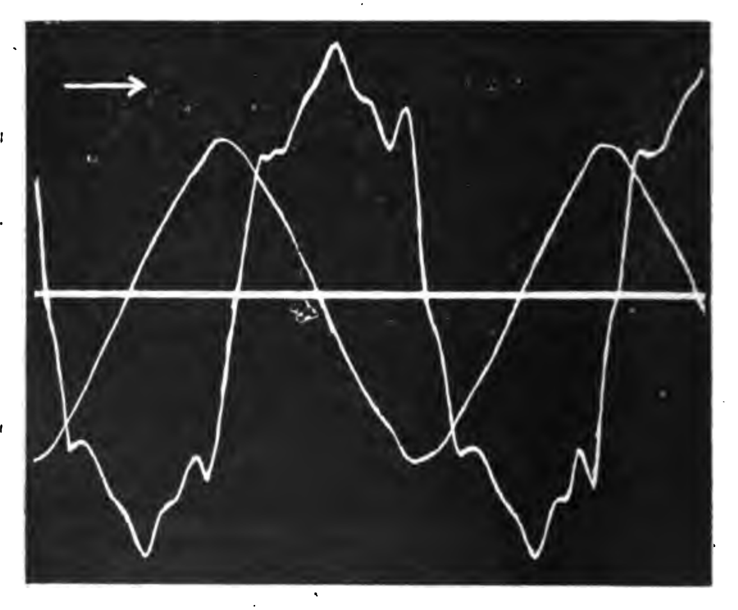


Fig. 1. — Courant inducteur et courant induit dans un transformateur.

L'analyse graphique étant insuffisante pour la détermination de l'équation des courbes, il faut employer des méthodes donnant *directement* n, a_n et φ_n; ce sont les *méthodes analytiques* proprement dites. En réalité, les méthodes analytiques ont été essayées en même temps que les premiers oscillographes, et ce sont les progrès continuels de ces derniers qui les ont fait oublier; mais, par un retour assez curieux, ces appareils facilitent singulièrement l'emploi des méthodes analytiques, de sorte que, s'il est nécessaire, on peut obtenir, à l'aide d'un même instrument : oscillographe ou rhéographe, la courbe elle-même, ou sa décomposition en harmoniques.

Parmi les méthodes analytiques proposées, puis abandonnées, on

peut citer celle de MM. Healing et Le Tall ([1]), dans laquelle le courant étudié traverse un électro placé devant un fil tendu. Quand la tension du fil est telle que sa période de vibration correspond à celle d'un des harmoniques, le fil se met à vibrer fortement, l'amplitude de ses vibrations indiquant, à peu près, l'amplitude de l'harmonique et l'ordre n étant déduit de la tension et des dimensions du fil. Cette méthode ne donne pas la phase.

MM. Lamb et Smith, à la même époque ([2]), et M. Blondel ensuite ([3]), obtiennent la valeur des harmoniques en envoyant le courant étudié dans le circuit fixe d'un électrodynamomètre, le circuit mobile recevant le courant fourni par un alternateur auxiliaire. Ce dernier, dont la vitesse peut être réglée à volonté, doit donner un courant sinusoïdal. Chaque fois que le courant auxiliaire i correspond à la fréquence d'un des harmoniques, on a :

$$i = C \sin n\omega t,$$

et la déviation passe par un maximum. Or la déviation est proportionnelle à :

$$\frac{1}{T}\int_0^T yi = \frac{C}{T}\int_0^T y \sin n\omega t,$$

c'est-à-dire à l'un des coefficients cherchés, puisque les formules de Cauchy donnent :

$$A_n = \frac{2}{T}\int_0^T y \sin n\omega t.$$

Un réglage préalable ayant permis de mettre i en phase avec les termes en sinus, il suffit de décaler l'alternateur de $\frac{\pi}{2}$, pour avoir :

$$i' = C \cos n\omega t,$$

et, par suite :

$$B_n = \frac{2}{T}\int_0^T y \cos n\omega t. \tag{3}$$

Sous cette forme, qui est celle de M. Blondel, la méthode est complète, puisque les trois facteurs cherchés sont déterminés ;

([1]) *Journal of the Inst. of Elect. Eng.*, t. XVIII, p. 284 ; — *Lumière électrique*, t. XXXII, p. 584 ; 1889.

([2]) *Industrie électrique*, p. 375, 25 août 1893.

([3]) *Lumière électrique*, t. LIII, p. 288 ; 1894.

malheureusement elle n'a pas été appliquée ainsi; seuls, MM. Lamb et Smith ont fait quelques expériences, sans se préoccuper de la phase.

2. Avec la méthode de résonance de M. Pupin (1), nous entrons dans une autre voie; les expériences sont plus faciles à réaliser et le calcul des résultats moins incertain.

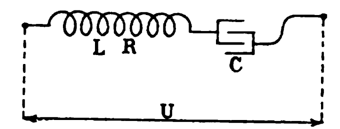


Fig. 2. — Schéma de la méthode de résonance.

Un circuit composé d'une bobine sans fer, ayant une résistance R et une self-induction L, en série avec condensateur de capacité C, étant soumis (*fig.* 2) à une différence de potentiel U, de fréquence $\frac{n}{T}$:

$$U = a_n \sin(n\omega t + \varphi_n),$$

est traversé par un courant I_n :

$$(4) \qquad I_n = \frac{a_n}{R\sqrt{1 + \left(\frac{n^2\omega^2CL - 1}{n\omega CR}\right)^2}} \sin(n\omega t + \varphi_n - \psi),$$

$$(5) \qquad \tan\psi = \frac{n^2\omega^2CL - 1}{n\omega CR}.$$

Cette intensité est maximum quand :

$$(6) \qquad n^2\omega^2CL = 1,$$

elle est alors égale à :

$$(7) \qquad I'_n = \frac{a_n}{R} \sin(n\omega t + \varphi_n).$$

A ce moment il y a *résonance*, car, en effet, le circuit ci-dessus n'est pas autre chose qu'un *résonateur*, dont la période d'oscillation propre, abstraction faite de l'amortissement, est :

$$T' = 2\pi\sqrt{CL};$$

(1) *American Journal of Science*, mai 1893; — *Lumière électrique*, t. LIII, p. 288; 1894.

or, il est facile de voir que T' est aussi la période $\frac{T}{n}$ du courant I_n, puisque, comme le montrent (3) et (6) :

$$\frac{T}{n} = \frac{2\pi}{n\omega} = 2\pi\sqrt{CL}.$$

Dans les expériences de Pupin, un électromètre, placé en dérivation sur le condensateur C, sert à l'observation. Il se développe dans le circuit des forces électromotrices $L\frac{dI}{dt}$ et $\frac{1}{C}\int I\,dt$, qui sont précisément égales entre elles et maxima au moment de la résonance; on tire de (7) :

$$(8)\qquad e = L\frac{dI_n}{dt} = n\omega\frac{L}{R}a_n\cos(n\omega t + \varphi_n).$$

Comme, dans la circonstance, on mesure un des harmoniques, c'est-à-dire un courant rigoureusement sinusoïdal, il est facile de déduire a_n de la force électromotrice *efficace* mesurée :

$$e_{eff.} = 0{,}707 e_0,$$

et

$$a_n = \frac{e_0 R}{n\omega L}.$$

La méthode de Pupin exige l'emploi de bobines ou de capacités permettant la variation continue de CL. Chaque fois que la déviation de l'électromètre passe par un maximum, on se trouve en présence d'un harmonique dont l'ordre n est donné par le produit CL :

$$(9)\qquad n = \frac{1}{\omega\sqrt{CL}},$$

et l'amplitude par l'équation (8). Cette méthode ne donne pas la phase.

Remplaçons maintenant l'électromètre par un oscillographe ou un rhéographe, immédiatement l'observation est simplifiée. Avant d'être arrivé à la résonance, on voit se tracer sur l'écran la courbe de l'harmonique visé et, si l'on a eu soin de conserver la courbe y du courant étudié, il est facile de *compter* le nombre n des oscillations qui se produisent pendant une période de la courbe y. Une fois l'ordre n de l'harmonique le plus voisin connu, il est facile de calculer la valeur plus exacte de CL à employer; mais ce calcul n'est qu'approximatif.

Au moment où la courbe observée est maximum, la résonance est atteinte et, si l'on connaît la résistance R du circuit de l'oscillographe et de la bobine de self-induction, si l'oscillographe lui-même est étalonné, la mesure de I'_n est facile, et on a :

$$a_n = RI_0,$$

I_0 étant l'ordonnée maximum de l'intensité I'_n.

De plus, l'équation (5) montre que la différence de phase ψ entre le courant I_n et la différence de potentiel U est nulle quand la résonance est atteinte ; donc on peut, en se servant de la courbe y comme repère, déterminer la phase φ_n de chaque harmonique.

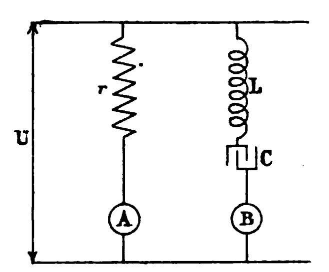


Fig. 3. — Mesure des faibles voltages.

3. Entrons plus avant dans la question. Pour la mesure des *différences de potentiel* assez basses, jusqu'à 200 volts environ, on peut employer le schéma de la *fig.* 3. L'oscillographe A, muni d'une résistance non inductive r, trace sur l'écran la courbe y du courant étudié. Le second oscillographe B est en série avec le condensateur C et une bobine de self-induction L ; le produit CL peut varier par l'un ou l'autre des facteurs, ou par les deux, et la *variation doit être aussi continue que possible*. Un réglage préalable des deux oscillographes a permis de faire coïncider les axes et les origines des temps sur les courbes.

Les choses étant ainsi disposées, on met d'abord le circuit CL en résonance avec la période principale (*fig.* 5), et on détermine soigneusement son amplitude maximum et sa phase par rapport à la courbe témoin. Ensuite on diminue CL, et l'observation de la courbe montre facilement les harmoniques qui existent dans le courant étudié ; on les met en résonance et on mesure également leur phase et leur amplitude.

Diverses causes d'erreurs existent dont il faut tenir compte. Nous

avons toujours calculé, jusqu'ici, le courant produit par l'harmonique visé seulement; mais l'équation (4) nous montre que le courant fourni par les autres harmoniques n'est jamais négligeable ; il y a lieu d'en tenir compte dans certains cas.

Examinons, par exemple, ce qui se passe pour un harmonique d'ordre $n+p$, lorsque la résonance est établie pour l'harmonique n; à ce moment nous avons :

$$C=\frac{1}{n^2\omega^2 L},$$

et cette valeur, introduite dans l'équation (4), où n a été préalablement remplacée par $n+p$, nous donne :

$$(10)\quad I_{n+p}=\frac{a_{n+p}}{R}\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{n^2-(n+p)^2}{n+p}\right)^2\omega^2\frac{L^2}{R^2}}}\sin[(n+p)\omega t+\varphi_{n+p}-\psi_{n+p}].$$

C'est-à-dire que l'intensité donnée par l'harmonique $n+p$ est réduite, par rapport à la valeur qu'elle aurait à la résonance, dans le rapport indiqué par le radical. Par conséquent, en étudiant l'harmonique n, il faut tenir compte des harmoniques $n+p$ dont l'amplitude est assez grande pour donner une intensité appréciable, bien qu'ils ne soient pas en résonance. En pratique, c'est surtout la période fondamentale : $n+p=1$, qui apporte du trouble dans les harmoniques supérieurs.

La présence des courants dus à tous les harmoniques autres que n ne change rien à l'amplitude ni à la phase de ce dernier; il en résulte seulement une légère courbure de l'axe du temps (*fig.* 6 et 7) ou une interférence qui donne lieu à des nœuds et à des ventres (*fig.* 9). Ces perturbations gênent fort peu ici, tandis qu'elles affectent notablement la valeur efficace du courant, telle qu'on la mesure dans la méthode de Pupin proprement dite.

Tous les harmoniques différents de n sont décalés sur leur phase réelle, et on a :

$$(11)\qquad \operatorname{tang}\psi_{n+p}=\frac{(n+p)^2-n^2}{n}\,\omega\frac{L}{R}=\left(\frac{p^2}{n}+2p\right)\omega\frac{L}{R}.$$

L'équation (10) montre que le courant I_{n+p} est d'autant plus atténué que la *constante de temps*, $\frac{L}{R}$, de la bobine est plus grande; on a donc intérêt *à faire cette constante aussi élevée que possible;* il en

résulte que ψ_{n+p} est toujours voisin de $\frac{\pi}{2}$, en avance quand p est positif, c'est-à-dire pour les harmoniques supérieurs à n, en retard pour les harmoniques inférieurs.

L'équation (8) montre que la force électromotrice d'induction est aussi proportionnelle à la constante de temps. Comme le condensateur est soumis à une différence de potentiel égale, il y a lieu d'éviter une trop grande valeur de $\frac{L}{R}$ pour les harmoniques où le produit na_n est élevé. Cette considération est déjà contradictoire à la condition précédente; nous trouverons plus loin une autre cause qui oblige aussi à limiter la constante de temps du circuit.

Voyons maintenant l'effet d'une petite erreur sur le réglage de la résonance; posons :

$$n^2\omega^2 CL - 1 = \varepsilon, \tag{12}$$

ε étant très petit devant 1. Cette valeur, introduite dans (4), donne, en remplaçant $1 + \varepsilon$ par 1 :

$$I''_n = \frac{a_n}{R}\frac{1}{\sqrt{1 + n^2\omega^2 \frac{L^2}{R^2}\varepsilon^2}} \sin(n\omega t + \varphi_n - \psi''), \tag{13}$$

et

$$\operatorname{tang}\psi'' = n\omega \frac{L}{R}\varepsilon. \tag{14}$$

Les équations (13) et (14) montrent qu'un très petit déréglage de la résonance affecte à la fois l'*amplitude* et la *phase* de l'harmonique et que, pour obtenir des résultats exacts, il faut pouvoir faire varier le produit CL d'une manière presque continue, en observant soigneusement le moment où l'amplitude maximum est atteinte. La meilleure solution est évidemment l'emploi de bobines à self-induction variable, dans le genre de celles de MM. Brillouin ou Ayrton et Perry.

Le déréglage ε peut aussi être dû à une variation de vitesse de l'alternateur; celle-ci produit une variation de la fréquence fondamentale et le facteur ω de l'équation (12) diffère de la valeur ω_0 qui donne la résonance; on obtient ainsi :

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = \frac{\varepsilon}{2}. \tag{15}$$

Le facteur ε est donc proportionnel à la variation relative de la

vitesse angulaire, c'est-à-dire à l'*irrégularité* de l'alternateur étudié.

Avec les machines très irrégulières, cet effet est tel qu'il est impossible de photographier les courbes de résonance. Il faut observer directement l'amplitude maximum et la phase au même moment. Si, après réglage, on veut substituer la glace sensible à l'écran de l'oscillographe, on a très peu de chances de déclencher l'obturateur photographique au moment d'un maximum. On peut, il est vrai, placer un électromètre aux bornes du condensateur et s'en servir pour observer le moment du maximum ; mais, en outre de la complication, ce moyen a le défaut de n'être efficace que pour les irrégularités très longues, l'inertie de l'électromètre le rendant impropre aux indications rapides.

Il faut remarquer que la variation d'amplitude est d'autant plus grande que $\frac{L}{R}$ est aussi plus grand ; on peut donc, le cas échéant, *réduire la constante de temps* à la valeur juste nécessaire pour rendre les harmoniques voisins sans influence. Les courbes 8 et 9 montrent bien ce défaut : elles ont été relevées sur une commutatrice dont l'irrégularité dépasse beaucoup 1 0/0.

4. Pour les voltages élevés, il faut employer un autre dispositif : en effet, il est dangereux de soumettre un condensateur à une différence de potentiel de plusieurs centaines de volts, et il ne faut pas oublier que le voltage qui agit sur le condensateur peut être beaucoup plus élevé que le voltage à mesurer.

La solution la plus simple consiste à mettre le circuit résonateur en dérivation sur une fraction, r_2, d'une résistance sans induction, $r_1 + r_2$, qui reçoit le voltage total (*fig.* 4).

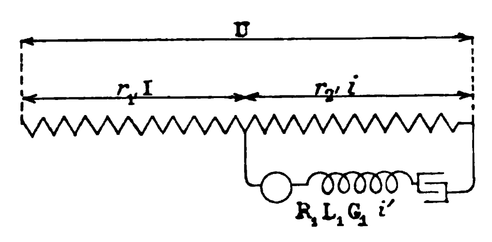


Fig. 4. — Mesure des voltages élevés.

Dans ces conditions, il est facile de voir qu'on a, au moment de la résonance :

$$Ri' = r_2 i, \qquad I = i + i',$$

et, finalement, le courant mesuré par l'oscillographe est :

$$i' = \frac{r_2}{r_1 r_2 + r_1 R + r_2 R} u_n ;$$

u_n étant l'harmonique n de la différence de potentiel U.

Il faut calculer les résistances r_1 et r_2, de sorte que la différence de potentiel $r_2 i'$ soit, au plus, égale à 100 volts.

Il est bien entendu que les deux méthodes ci-dessus (§ 3 et 4) mesurent des *différences de potentiel* U et que, pour en déduire la *force électromotrice* E de l'alternateur, il faut tenir compte de la résistance et de la self-induction du générateur. La correction à apporter à U, pour obtenir E, est naturellement variable avec l'ordre n de l'harmonique, et, si l'oscillographe exige un courant appréciable, certains harmoniques de la force électromotrice peuvent être presque complètement étouffés. Par conséquent, l'oscillographe employé donnera une valeur de E d'autant plus exacte que la résistance du circuit sera plus grande ; c'est exactement le cas de tous les voltmètres.

5. Pour la mesure des intensités, le procédé à employer est encore différent. On pourrait évidemment placer le circuit résonateur en dérivation sur une résistance sans self-induction et mesurer comme ci-dessus ; mais il faut observer que l'on ne peut obtenir ainsi qu'une différence de potentiel très faible et, à moins que l'oscillographe employé soit très sensible, il faut que la résistance R du résonateur soit faible, ce qui conduit à L également très faible et exige pour C des valeurs très grandes et pratiquement inutilisables.

Une solution plus simple consiste à faire usage d'un petit transformateur *élévateur de tension*, sans fer, dans le circuit secondaire duquel on intercale l'oscillographe, le condensateur et, au besoin, une bobine de self-induction additionnelle. A la résonance, le courant secondaire I_n mesuré par l'oscillographe est *en phase* avec la force électromotrice induite par l'harmonique visé, c'est-à-dire en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur l'harmonique i_n lui-même, et le courant observé a pour valeur, en appelant M le coefficient d'induction mutuelle du transformateur :

$$I_n = \frac{M n \omega i_n}{R} \sin\left(n\omega t + \varphi_n - \frac{\pi}{2}\right). \tag{16}$$

En calculant, comme ci-dessus, l'influence des harmoniques voi-

sins, on voit que l'intensité I_{n+p} est réduite à :

$$(17)\quad I_{n-p} = \frac{M(n+p)\omega i_{n+p}}{R} \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{n^2-(n+p)^2}{n+p}\right)^2 \omega^2 \frac{L^2}{R^2}}} \sin\left(n\omega t + \varphi_{n+p} - \frac{\pi}{2} - \Psi_{n+p}\right).$$

On voit que les harmoniques inférieurs, p négatif, ont une action perturbatrice moindre que dans le cas de la mesure des voltages. Au contraire, les harmoniques supérieurs sont beaucoup plus gênants. Ce double résultat est dû à ce que le courant donné par chaque harmonique est proportionnel au produit $(n + p)\, i_{n+p}$, tandis que, dans la mesure des voltages, il est seulement proportionnel à a_{n+p}.

La constante de temps joue ici le même rôle que précédemment pour l'étouffement des harmoniques voisins, et on trouvera la même difficulté à l'augmenter, à cause de la force électromotrice d'induction qui croît très vite :

$$e = Mn^2\omega^2 \frac{L}{R} I_n,$$

et, aussi, à cause des variations de vitesse qui causent la même variation d'amplitude et de phase des courbes [Voir (13) et (14)].

6. La facilité d'emploi de cette méthode repose en grande partie sur la bobine de self-induction dont on dispose. Il faut que cette self-induction varie d'une manière continue par l'éloignement ou le rapprochement de deux bobines, ou par leur variation d'angle. Il est nécessaire de posséder au moins deux bobines de self-induction : une de 1 à 2 henrys, l'autre de 0,1 à 0,2 henry, pour obtenir la résonance avec des capacités pas trop grandes.

La constante de temps du circuit est le quotient de la somme des self-inductions par la somme des résistances ; il faut donc donner à la bobine additionnelle la plus grande constante de temps possible pour que la constante résultante soit élevée. Si on craint les effets nuisibles de $\frac{L}{R}$, on a toujours la ressource d'augmenter R, quand la sensibilité de l'oscillographe le permet.

On est assez vite limité dans l'augmentation de $\frac{L}{R}$. On sait, en effet, que la *constante de temps* varie, toutes choses égales d'ailleurs, et pour des bobines homologues, comme le carré des dimensions linéaires, c'est-à-dire comme la puissance $\frac{2}{3}$ du volume :

$$\frac{L}{R} : \frac{L'}{R'} = \left(\frac{V}{V'}\right)^{\frac{2}{3}}.$$

La constante de temps varie avec la *forme* de la bobine, avec la *conductibilité* du fil et avec l'*épaisseur de l'isolant.* Dans les conditions les plus favorables, on obtient $\frac{L}{R} = 0{,}01$ seconde avec un volume de fil de 300 à 600 centimètres cubes correspondant à un *poids* utile de fil de 2 à 3 kilogrammes.

Il ne doit y avoir, dans les bobines de self-induction employées, aucune autre dépense d'énergie que l'effet Joule, RI^2, dans le circuit mesuré. C'est pour cette raison qu'il faut employer des bobines sans fer, n'ayant pas de spires en court-circuit et sans masses métalliques susceptibles d'être le siège de courants de Foucault.

On emploie quelquefois l'expression constante de temps en l'appliquant à des bobines à noyau de fer. Dans ce cas, la valeur intéressante, en courant alternatif, dépend non seulement de $\frac{L}{R}$, mais encore de toutes les pertes d'énergie, et on doit écrire :

$$\operatorname{tang} \varphi = \omega \frac{L'}{R'},$$

en donnant à φ sa valeur tirée du *facteur de puissance* K :

$$\cos \varphi = \frac{P}{EI} = K,$$

$$\frac{L'}{R'} = \frac{1}{\omega} \operatorname{tang} \varphi = \frac{1}{\omega} \frac{\sqrt{1 - K^2}}{K}.$$

Cette expression de la constante de temps nous donne la valeur de la résistance fictive R′ qu'il faudrait introduire dans les équations précédentes pour le calcul des amplitudes et des forces électromotrices. Il est facile de voir que cette formule contient le facteur K, qui est variable avec la fréquence et presque toujours inconnu. Mais on voit aussi que $\frac{L'}{R'}$ est toujours plus petit que $\frac{L}{R}$, par conséquent les amplitudes, comme les forces électromotrices calculées, sont plus grandes que les valeurs observées, quand il y a du fer dans la bobine.

Pour la même raison, le coefficient de self-induction L′, d'une bobine avec fer, mesuré en courant alternatif, est toujours plus petit que la valeur statique, parce que le calcul est basé sur la valeur vraie R, au lieu de la résistance fictive R′.

Les condensateurs employés peuvent être quelconques, pourvu que leur isolement ne soit pas trop mauvais. Le calcul de la capacité n'in-

tervenant pas, puisque n est déterminé par le nombre d'oscillations observé dans une période, le réglage défectueux des capacités et les petits défauts tels que la variation de la capacité avec le temps de charge, ne gênent pas. La dépense d'énergie dans les condensateurs est toujours assez petite pour être négligée, au moins avec les oscillographes industriels qui exigent des courants assez intenses.

7. Comme exemple de décomposition d'une courbe de courant alternatif, nous allons prendre les *fig.* 5 à 9, qui ont été relevées sur une commutatrice. Cette machine porte, sur un seul induit, deux enroulements distincts, de façon à ce que le voltage secondaire en courant continu soit égal au voltage efficace primaire en alternatif.

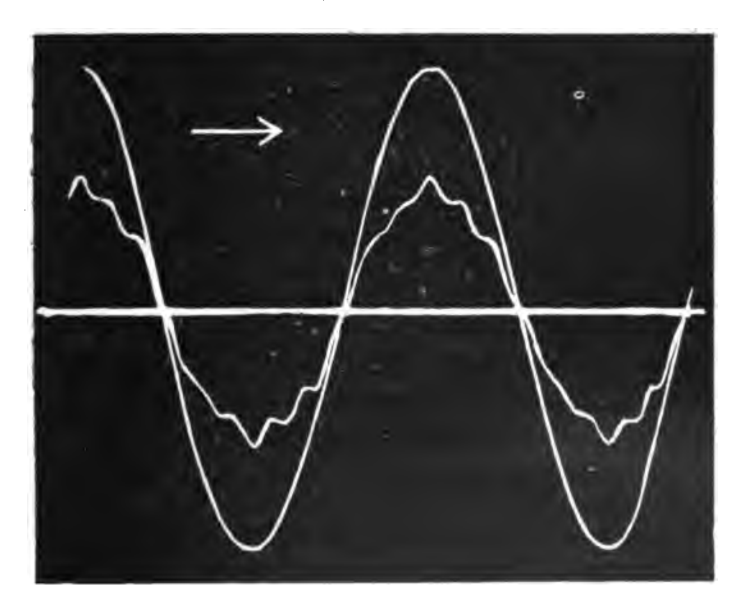


Fig. 5. — Période principale en résonance.

Le rôle de la machine a été renversé. Le courant primaire est pris sur un réseau à courant continu dont le voltage oscille fréquemment et très brusquement, entre 115 et 120 volts. Il en résulte naturellement une vitesse fort irrégulière de la commutatrice, ce qui rend presque impossible la photographie des courbes de résonance. On trouvera, dans le tableau ci-dessous, les valeurs de a_n et φ_n, pour les harmoniques principaux, relevées sur les clichés et observées directement. Il y a une différence très notable entre ces valeurs

pour $n = 7$ et 11 ; cela provient de ce que, malgré des essais répétés, il a été impossible de faire coïncider la photographie avec un moment de résonance parfaite.

Les mesures ont été faites dans des conditions variées de self-induction, de capacité et de résistance. Les bobines de l'oscillographe ont été mises en série — sensibilité $S = 1$ — ou en dérivation — sensibilité 0,5. La colonne y_n indique, en millimètres, l'ordonnée maximum de l'harmonique observé, et la colonne a_n renferme les valeurs relatives des demi-amplitudes :

$$a_n = \frac{Ry_n}{S}.$$

Comme on le voit, l'harmonique 5 est affecté par la période principale. En appliquant la formule (10), on voit que $n + p = 1$ donne encore une sinusoïde dont l'amplitude est environ le quart de celle qui correspond à $n = 5$; le calcul se vérifie bien sur le cliché. La courbure de l'axe des temps ne gêne pas pour la mesure de l'amplitude; on peut, sans commettre d'erreur trop forte, prendre pour y_n la moyenne de trois maxima consécutifs, les deux extrêmes étant de signe opposé au moyen :

$$y_n = \frac{y' + 2y'' + y'''}{4}.$$

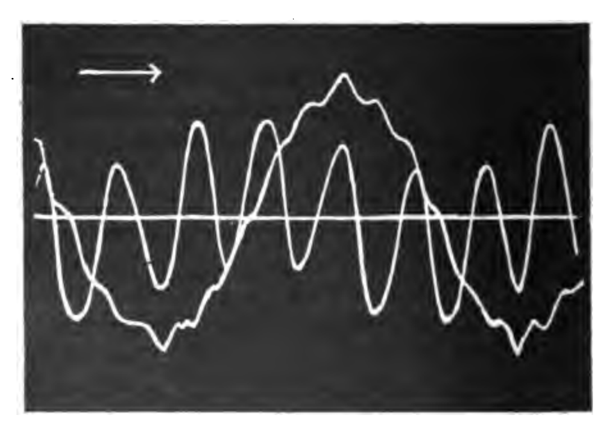


Fig. 6. — Harmonique cinq.

Pour la phase, il faut la mesurer en partant d'un *maximum*, quand cette courbe part d'un axe curviligne, comme c'est le cas dans la

fig. 6. On choisit une période de l'harmonique aussi près que possible du maximum de la courbe perturbatrice et on prend la moyenne entre les deux passages au zéro de cette courbe. Il suffit de retrancher de la distance de ce point à l'origine de la courbe témoin le nombre de périodes entières qui y est contenu, moins un quart de période ; le reste donne la phase cherchée.

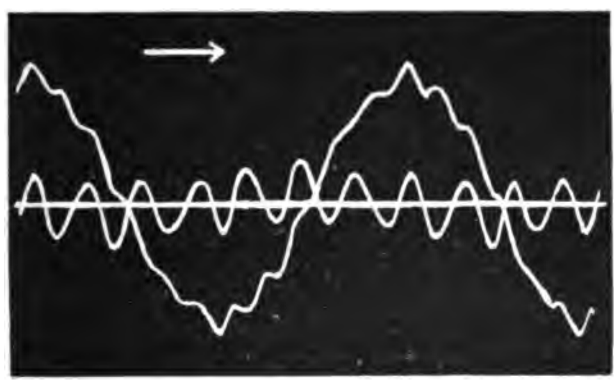


Fig. 7. — Harmonique sept.

La même perturbation se retrouve dans la *fig.* 7, où la période principale a encore une amplitude égale environ au quart de celle de l'harmonique 7.

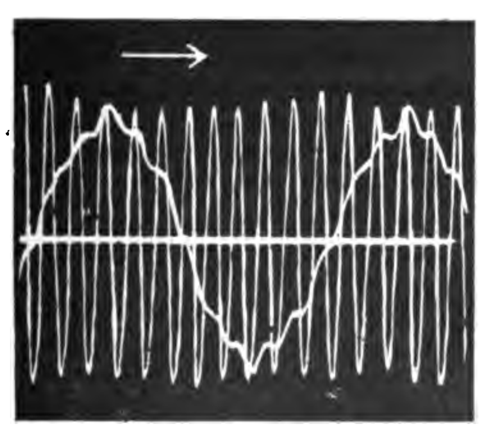


Fig. 8. — Harmonique onze.

Avec la courbe 11 (*fig.* 8), l'amplitude est suffisante pour que la période fondamentale ne gêne plus; mais les variations de vitesse

sont considérablement grossies et on voit que l'amplitude de la courbe varie constamment.

Enfin, dans la courbe 13 (*fig.* 9), nous avons un curieux effet dû à l'interférence des harmoniques 11 et 13. Le premier n'est réduit qu'à 16 0/0 de sa valeur, ce qui, grâce à sa grandeur, lui donne

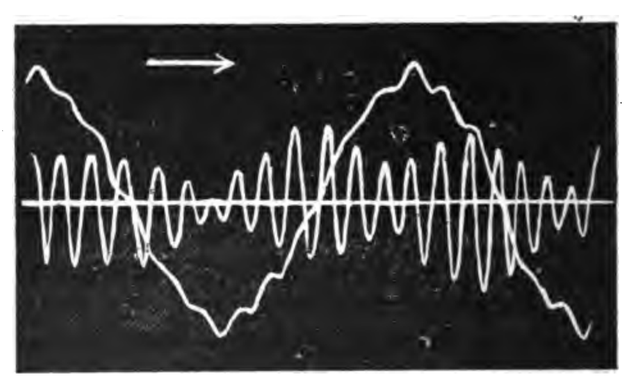


Fig. 9. — Harmonique treize interférant avec l'harmonique onze.

une amplitude du même ordre que celle de l'harmonique 13, qui est étudié. Il est évident qu'il faudrait une constante de temps énorme; mais alors les mesures deviendraient très difficiles, à cause des variations de vitesse, qui sont déjà très gênantes. L'amplitude indiquée dans le tableau, pour $n = 13$, est l'*amplitude moyenne*.

Valeurs relevées sur les clichés.

	L	C	R	y_n	φ	S	a_n
1	2,006	9	204	32	0	1	6,500
5	0,240	3	13	10,5	avance $0{,}3\pi$	1	136
7	0,240	1,60	6,8	4,2	avance $3/4\pi$	0,5	57
11	0,240	0,63	13	20	retard $\frac{\pi}{2}$	1	260
13	0,106	0,90	18,1	5	0	1	90

Valeurs observées directement (maxima).

	L	C	R	y_n	φ	S	a_n
5	0,240	3	6,8	10	0	0,5	136
7	0,240	1,60	6,8	5,5	avance $3/4\pi$	0,5	75
11	0,101	1,45	11,9	15	retard π	0,5	357

Si grossiers que soient les résultats, dans le cas particulier que nous venons d'analyser, on voit que la différence de potentiel aux bornes de la commutatrice est représentée, en valeur relative, par

une équation de la forme suivante :

$$U = 6.500 \sin \omega t + 136 \sin 5\omega t + 75 \sin\left(7\omega t + \frac{3\pi}{4}\right) + 357 \sin(11\omega t - \pi) + 90 \sin 13\omega t.$$

Cette courbe renferme encore d'autres harmoniques plus élevés, le vingt-septième par exemple ; mais leur amplitude est négligeable vis-à-vis de ceux ci-dessus.

8. La méthode de résonance n'a pas été souvent employée jusqu'ici, faute de moyens commodes pour l'appliquer, et, aussi, parce qu'elle est peu connue. Il est cependant un certain nombre de questions dans lesquelles le simple examen des courbes, oscillographiques ou autres, ne peut pas donner des résultats complets.

Toutes les fois qu'on se trouve en présence d'un phénomène rigoureusement périodique, il est facile de déterminer l'équation de la courbe; par conséquent, on peut voir l'influence des différents facteurs sur chaque harmonique et, souvent, obtenir une interprétation mathématique là où on est obligé de se servir de formules empiriques.

Parmi les questions de ce genre, l'une des plus importantes paraît être l'étude du rôle du fer dans tous les appareils électriques; c'est même la question *type*, car, avec un courant bien régulier, on a des phénomènes rigoureusement périodiques et susceptibles d'une traduction mathématique. L'action des diélectriques pourrait être étudiée de même.

Dans les phénomènes à forme plus complexe, comme ceux de l'arc et de l'électrolyse, l'irrégularité des courbes, lorsqu'on les observe avec les oscillographes, est tout à fait décourageante; cependant on voit, en pratiquant la méthode de résonance, que les irrégularités troublent peu les résultats, et il serait intéressant d'entreprendre l'étude de ces phénomènes à ce point de vue. Les irrégularités paraissent porter exclusivement sur certains harmoniques. Ceci peut contribuer à déterminer leur nature.

Le procédé le plus exact, dans ces cas, consiste à remplacer la courbe témoin par la courbe du même harmonique, mesurée sur l'autre facteur. En effet, la puissance électrique en courant alternatif complexe est, comme l'on sait, égale à la *somme* des puissances qui correspondent à chaque harmonique; donc, en mettant côte à côte le même harmonique pris sur U et sur I, on obtient plus exactement la différence de phase et, par suite, la puissance réelle.

9. L'*irrégularité* de la vitesse des alternateurs étant une des principales difficultés que l'on rencontre dans l'emploi de la méthode de résonance, il est naturel de chercher à se servir de la perturbation produite pour mesurer cette irrégularité.

Si, dans un oscillographe, nous supprimons le déplacement du spot en fonction du temps, nous aurons, au lieu de la courbe habituelle, un trait lumineux rectiligne, de longueur variable avec l'amplitude de la courbe observée. Si cette courbe est celle d'un harmonique élevé, la variation de longueur pourra indiquer les petites variations de vitesse de l'alternateur. Il suffira de recevoir cette ligne lumineuse sur un papier sensible, enroulé sur un manchon tournant synchroniquement avec l'arbre de l'alternateur, pour obtenir un tracé en forme de ruban de largeur variable, cette *largeur* étant fonction de la vitesse angulaire réelle de la machine.

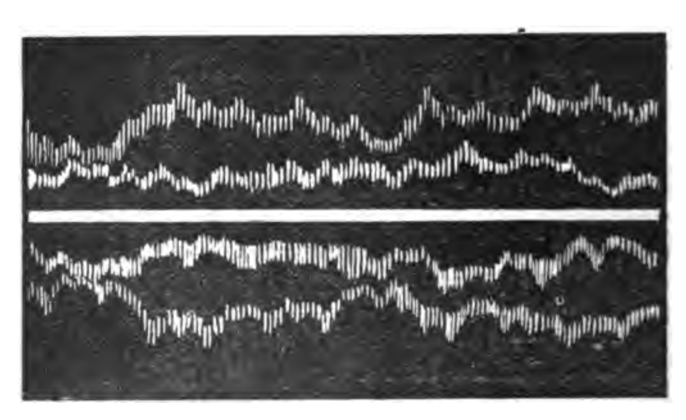


FIG. 10. — Effet des variations de vitesse. Les courbes tracées très rapidement ne sont nettement visibles qu'à leurs sommets, ce qui suffit à indiquer les variations d'amplitude.

La *fig.* 10 montre une application de ce genre faite sur la commutatrice étudiée ci-dessus. Les variations d'amplitude enregistrées correspondent à des variations de vitesse de 4 à 5 0/0. L'harmonique en résonance est le onzième et, sur le cliché, on voit très nettement les courbes séparées. Le déplacement en fonction du temps a été produit à la main, à la vitesse de 36 centimètres par seconde ; deux images successives se sont superposées.

Il est facile de calculer la relation entre l'*amplitude* des oscillations

et l'*irrégularité* de l'alternateur. Nous avons trouvé précédemment :

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = \frac{\varepsilon}{2}.$$

Cette valeur, introduite dans (13), nous donne, pour l'amplitude :

$$\alpha = 2\frac{a_n}{R}\frac{1}{\sqrt{1 + 4n^2\omega^2\frac{L^2}{R^2}\left(\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}\right)^2}};$$

tandis qu'à la résonance parfaite nous avons :

$$\alpha_0 = 2\frac{a_n}{R};$$

le rapport de ces valeurs donne :

$$\frac{\alpha}{\alpha_0} = \sqrt{1 + 4n^2\omega^2\frac{L^2}{R^2}\left(\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}\right)^2},$$

d'où l'on tire :

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = \pm\frac{R}{2n\omega L}\sqrt{\frac{\alpha_0^2 - \alpha^2}{\alpha^2}}.$$

Pour cette application de la méthode, il suffit de régler la résonance pour le *maximum ou le minimum* de la vitesse, afin d'éviter que deux valeurs de l'irrégularité donnent la même amplitude; α_0 est alors la *plus grande* amplitude de la courbe et, pour toutes les autres valeurs α, la formule permet de calculer l'irrégularité. Il faut prendre l'*amplitude* au lieu de la distance à l'axe, à cause des harmoniques voisins qui peuvent apporter de la dissymétrie dans la courbe, comme on le voit *fig.* 10.

Le rapport $\frac{\alpha}{\alpha_0}$ croissant avec la constante de temps du circuit résonateur, il faut, pour déceler les petites irrégularités, augmenter considérablement les dimensions des bobines, à moins que le courant ne renferme des harmoniques élevés.

Comme exemple, nous pouvons calculer la constante de temps qu'il faudrait employer pour mesurer des variations de $\frac{1}{2}$ degré par tour, sur les alternateurs de la Rive Gauche, en nous servant de l'harmonique 15 de ce courant. L'irrégularité sera, au minimum, de $\frac{1}{720}$; si

nous voulons obtenir par ce moyen un rapport $\frac{\alpha}{\alpha_0} = \frac{1}{2}$, il faudra prendre une bobine ayant $\frac{L}{R} = 0,158$ seconde, c'est-à-dire ayant un poids de cuivre de 125 à 190 kilogrammes! Le cas échéant, une pareille bobine pourrait être formée d'une grosse botte de câble, le réglage de la résonance se faisant en éloignant ou en supprimant quelques spires.

L'influence du magnétisme sur la conductibilité calorifique du fer [1];

Par M. Désiré KORDA.

En examinant la théorie de l'effet du champ magnétique sur les réactions chimiques des solutions de sels de fer, l'idée m'est venue de rechercher si le champ magnétique n'influait pas également sur la conductibilité calorifique des corps ferromagnétiques. Les expériences que j'ai entreprises dans ce but avec le concours dévoué de mon ami, M. Rhoné, sur des disques et barreaux en fer doux, ont confirmé mon raisonnement et m'ont conduit aux résultats suivants :

La conductibilité calorifique du fer doux éprouve une diminution dans la direction des lignes de forces magnétiques et reste, par contre, sans changement dans la direction des lignes équipotentielles, indépendamment du sens de la force magnétisante.

Ce dernier fait, que l'influence du magnétisme ne dépend pas du flux magnétique, semble indiquer, si toutefois il n'est pas le résultat de relations compliquées, que l'affaiblissement de la conductibilité thermique dépend d'une puissance paire de la force magnétisante. Je n'ai pas pu encore établir par voie expérimentale la loi qui les relie, mais je peux ajouter que la formule à laquelle je suis arrivé par considérations théoriques montre qu'il s'agit de la deuxième puissance de H.

Mes résultats établissent une certaine analogie entre les propriétés des corps ferromagnétiques et celles des cristaux uniaxes. De même que, pour ces derniers, le coefficient de dilatation et la conductibilité calorifique varient suivant l'axe ou une direction oblique à l'axe, les

---

[1] Séance du 13 février 1899.

corps ferromagnétiques perdent leur qualité isotrope dans la direction des lignes de forces.

S'il était permis de procéder par pure analogie, nous pourrions rapprocher ce fait du phénomène bien connu de Fresnel, qu'un prisme en verre devient biréfringent au fur et à mesure qu'on le comprime, ou encore à celui de la biréfringence électrique de Kerr, où l'axe optique du diélectrique d'un condensateur coïncide avec la direction des lignes de forces. On se demande alors s'il n'est pas probable que les corps ferromagnétiques présentent le phénomène de la biréfringence par rapport aux radiations calorifiques. Il ne sera peut-être pas impossible de vérifier cette propriété hypothétique par la voie d'expériences.

Quoi qu'il en soit, la dissymétrie produite, dans la masse du fer, par le champ magnétique, influe sur la propagation de la chaleur. Pour pouvoir mettre en évidence cette variation de la conductibilité thermique par le champ, j'ai eu recours à une expérience analogue à celle dont s'est servi de Sénarmont, pour ses études sur la conductibilité calorifique des cristaux. Ainsi que vous vous rappelez, il a pris dans un cristal de spath d'Islande deux lames, dont l'une taillée perpendiculairement et l'autre taillée obliquement par rapport à l'axe. Après avoir percé un trou au milieu de chacune de ces lames, il y a fait passer un fil fin en platine qu'il a pu faire rougir au moyen du courant d'une batterie de piles. Les lames avaient été couvertes, au préalable, d'une couche de cire que la chaleur transmise par la conductibilité de la lame devait fondre. Il a alors observé que, dans le premier cas, c'est-à-dire quand la lame était taillée perpendiculairement à l'axe optique, le bourrelet formant le contour de la cire fondue était d'une forme exactement circulaire, tandis que, sur la lame taillée obliquement, ce bourrelet présentait la forme elliptique.

Voici comment j'ai appliqué cette expérience au cas qui m'occupe [1] :

J'ai pris un disque en fer doux de $0^{mm},35$ d'épaisseur et de 320 millimètres de diamètre, tel qu'on l'emploie dans la construction des induits. Je l'ai choisi exprès d'une épaisseur aussi faible que possible, afin que les défauts d'homogénéité et de différences d'épais-

---

[1] Ces expériences furent exécutées au Laboratoire d'Électricité du Conservatoire des Arts et Métiers. Je tiens à exprimer ici ma reconnaissance à M. Marcel Deprez pour l'amabilité avec laquelle il a bien voulu mettre à ma disposition ses appareils.

seur soient moins à craindre. Ce disque fut pourvu d'un tube concentrique de 90 millimètres de diamètre soudé à l'étain et servant de source de chaleur comme récipient d'eau chaude ou d'huile bouillante. Il fut recouvert, avant l'expérience, d'une légère couche de paraffine et fut ensuite placé sur les pôles de forme ronde (72 millimètres de diamètre) d'un fort aimant de Faraday à disposition verticale. Je me suis servi de celui qu'a fait établir M. Becquerel pour le Conservatoire des Arts et Métiers. On a eu soin de bien séparer le disque des pôles au moyen d'une couche de coton et de feuilles de mica, afin d'éviter une déperdition de chaleur pouvant vicier les résultats.

En versant le liquide bouillant sans exciter l'aimant, la chaleur s'est répandue uniformément dans le disque et a provoqué une fusion de la paraffine suivant des cercles bien concentriques. Le plus grand de ces cercles avait environ 200 millimètres. Par contre, en répétant l'expérience en présence d'un champ magnétique, la forme de la plage en fusion s'est déformée et a présenté la figure d'une ellipse dont le petit axe (175 millimètres) se trouvait dans la direction de l'axe magnétique et dont le grand axe ne différait pas sensiblement du diamètre du cercle formant le contour de la paraffine fondue sans champ dans l'expérience précédente. L'aplatissement fut d'environ 12 0/0 ; la conductibilité thermique a donc éprouvé un affaiblissement de 12 0/0 suivant la direction de l'axe magnétique.

En opérant sur des disques plus petits (80 millimètres) avec un électro-aimant de dimensions plus réduites, j'ai pu obtenir des plages de fusion qui, au début, d'une forme elliptique, se déformaient en s'élargissant et prenaient la forme de lemniscates.

Dans une autre série d'expériences, je me suis servi de barreaux ou plutôt de fils de fer de 7 millimètres de diamètre, en les soumettant à des mesures bolométriques.

Voici la manière dont j'ai procédé : J'ai pris deux fils de fer bien droits, d'une longueur de 115 millimètres chacun. Chacun de ces fils de fer formait le noyau d'une bobine d'excitation de mêmes dimensions et de résistance sensiblement égale, environ 2,77 ohms. Voici, du reste, leurs dimensions : longueur, 138 millimètres ; diamètre extérieur, 47 millimètres ; diamètre intérieur, 17 millimètres ; diamètre du fil de cuivre, 1 millimètre ; nombre de spires, 1.250. Avec un courant d'excitation de 0,1 ampère, on avait une induction magnétique d'à peu près 12.000 C. G. S. dans le fer. Avec un courant

aussi faible et vu les dimensions ci-dessus, l'erreur due à l'échauffement de la bobine par la perte ohmique fut insignifiante et ne pouvait aucunement déranger les résultats de l'expérience.

Comme source de chaleur, j'ai fait usage d'un bec Bunsen. Pour être à l'abri d'erreurs pouvant provenir des variations de cette source de chaleur, j'ai eu recours à une méthode rappelant celle à zéro. C'est pourquoi j'avais choisi deux barreaux de fer et deux bobines. Chaque barreau portait à l'un des bouts une petite spirale en fil fin de platine d'environ 14 ohms de résistance. Les deux spirales formaient les deux branches voisines d'un pont de Wheatstone; la troisième branche comprenait une résistance fixe de 1.000 ohms, et la quatrième, une résistance variable pour le réglage préalable.

Une croix en cuivre disposée dans un plan horizontal a complété le système. En effet, elle servait de support aux deux barreaux, dont chacun était soudé à l'une des branches de 9 millimètres de diamètre de cette croix, et elle séparait en même temps les deux barreaux et leurs bobines d'excitation suffisamment, afin que le magnétisme de l'un ne puisse pas influencer, par dispersion, l'état de l'autre. Enfin, une barre de cuivre de 20 millimètres de diamètre et de 240 millimètres de longueur formait la partie centrale de la croix et amenait la chaleur du bec Bunsen aux deux parties symétriques du système.

Quand on n'aimantait aucun des barreaux, le galvanomètre du pont de Wheatstone, destiné à comparer les températures qui se manifestaient aux extrémités de ces barreaux, indiquait une déviation due à la dissymétrie du système, qu'il était impossible d'éliminer complètement. Cette déviation, une fois le régime atteint, ne dépassait guère 2,5 divisions, après avoir mis 18^{m},15^{s} mesurée au chronomètre, pour atteindre 2 divisions. La durée fut mesurée à partir de l'instant de la mise en fonctionnement de la source de chaleur.

Quand les deux barreaux furent aimantés, ces chiffres ne subissaient guère de variations, et le galvanomètre a mis sensiblement 18 minutes pour arriver à 2 divisions.

Par contre, en recommençant l'expérience après refroidissement complet et en n'excitant que la bobine droite seule, il fallait un laps de temps de 22 minutes pour arriver à 2 divisions : la chaleur se propageait donc plus lentement dans le fer aimanté.

Enfin, quand on a répété l'expérience avec l'aimantation du barreau gauche seul, le délai en question n'était plus que de 15^{m},30^{s}. J'en ai

conclu que la dissymétrie initiale de l'appareil était telle que la branche droite conduisait mieux la chaleur que la partie gauche.

J'ai entrepris, depuis, d'autres expériences en remplaçant le pont de Wheatstone par un couple thermo-électrique pour la mesure des températures. Ces expériences ont pour but d'établir la relation qui doit exister entre le champ et la conductibilité calorifique correspondante. Elles ne sont pas encore assez avancées pour que je puisse en communiquer aujourd'hui les résultats.

RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS

FAITES PENDANT L'ANNÉE 1901.

SÉANCE DU 4 JANVIER 1901.

PRÉSIDENCE DE M. PELLAT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 21 décembre 1900 est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. JOB (A.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL signale parmi les pièces de la correspondance une intéressante série de Notices scientifiques publiées récemment par MM. GAIFFE et C[ie].

Nouvelle méthode expérimentale pour l'étude de la transpiration des gaz. — M. JOB décrit une nouvelle méthode pour mesurer la résistance des tubes capillaires à l'écoulement des gaz : on fait passer dans un voltamètre un courant d'intensité connue et l'on ne laisse d'autre issue au gaz tonnant que le tube capillaire à étudier. Il se produit dans l'appareil un excès de pression qui, pour un débit donné, mesure la résistance du tube. Le tube capillaire une fois étalonné peut servir à mesurer la vitesse d'un dégagement gazeux quelconque; et le voltamètre qui en est muni devient un véritable ampèremètre très sensible, et auquel on peut donner une grande précision.

On dispose en même temps d'un procédé commode pour étudier la viscosité d'un gaz quelconque dégagé par électrolyse. C'est ainsi qu'avec un voltamètre à électrodes séparées réalisé par l'auteur on peut à volonté étudier la transpiration de l'hydrogène pur ou de l'oxygène pur, et en associant deux appareils analogues traversés par des courants d'intensités différentes on peut mesurer le coefficient de frottement du mélange des deux gaz en proportions arbitraires et bien connues. Il peut être intéressant de comparer les coefficients ainsi déterminés avec ceux que fait prévoir la théorie cinétique des gaz.

Nouvelles recherches sur les transformations des rayons X par la matière, par M. G. SAGNAC. — 1. *Application de la transformation des*

rayons X à la Chimie. — L'étude de l'action électrique des rayons secondaires émis par un corps permet d'y reconnaître la présence d'une petite quantité d'un élément relativement très actif, par exemple le cuivre, le fer, dans l'aluminium. De là aussi une méthode pour chercher à découvrir des éléments nouveaux. Analogue à la méthode de M. et Mme Curie, qui repose sur l'activité spontanée de certains éléments particuliers (découverte du polonium, du radium, de l'actinium), la méthode précédente serait bien moins sensible, mais, par contre, plus générale.

2. *Absorption des rayons secondaires par l'air.* — L'énergique absorption que les rayons secondaires les plus actifs, issus d'un métal comme le platine, éprouvent dans les premiers millimètres d'air adjacents au métal rayonnant, a été vérifiée d'une manière directe en raréfiant l'air autour du métal.

3. *Nouveau mode de décharge des corps électrisés.* — Un faisceau de rayons X décharge un conducteur C même quand le faisceau ne traverse pas la région I de l'atmosphère soumise au champ électrique F_i du conducteur; il suffit que le faisceau de rayons traverse une région E de l'atmosphère électrostatiquement séparée du champ du conducteur C par un écran de Faraday discontinu (une toile métallique, par exemple), mais dans laquelle règne un champ électrique F_e de même sens ([1]) que le champ F_i. Il en résulte, en particulier, que si des rayons traversent aussi la région I, la présence du champ extérieur F_e peut, suivant le sens de ce champ et celui du champ F_i, modifier considérablement la vitesse de décharge du corps C; cette vitesse varie alors, par exemple, dans le rapport de 1 à 10 ou 20, quand on renverse le signe de l'électrisation du conducteur C, alors qu'elle est indépendante de ce signe en l'absence du champ extérieur F_e.

M. Sagnac explique ces phénomènes en admettant que les *ions* produits par les rayons dans l'air de la région E acquièrent sous l'influence du champ électrique F_e une vitesse et une force vive suffisantes pour leur permettre de quitter les lignes de force du champ F_e, et pénétrer dans la région I en traversant les petits orifices de l'écran de Faraday. — Ces flux d'ions, positifs ou négatifs, produits dans l'atmosphère sont les analogues des rayons cathodiques considérablement plus rapides et moins diffusables produits dans le vide de Crookes. D'autres considérations, d'ailleurs, viennent à l'appui de cette *généralisation de la notion des rayons cathodiques*, qui, énoncée par l'auteur en 1898, s'est trouvée en accord avec les faits observés depuis cette époque dans le laboratoire du professeur J.-J. Thomson.

M. Benoist signale que certains résultats obtenus par M. Sagnac sur l'absorption des rayons X et S semblent devoir se rattacher à une loi d'absorption très générale, qu'il compte faire connaître très prochainement.

M. J. Lemoine présente quelques jouets scientifiques : le bateau sous-marin, ludion automatique à dégagement d'anhydride carbonique avec intervention de phénomènes capillaires; le Kinora, construit par M. Gaumont, sorte de cinématographe en feuilles très perfectionné; le culbuteur

---

([1]) Expériences décrites dans un pli cacheté déposé à l'Académie des Sciences, le 18 juillet 1898, ouvert dans la séance du 5 février 1900. — M. P. Villard a trouvé de son côté que les flammes, les corps incandescents, le phosphore produisent les mêmes effets qu'un faisceau de rayons X (*Société française de Physique,* séance du 16 mars 1900).

chinois de la maison Salleron; un prétendu appareil à radioscopie, dans lequel on fait reparaître par une immersion dans l'hyposulfite une image positive sur papier que l'on avait fait disparaître dans le bichlorure de mercure, etc.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES

SUR L'EXERCICE 1899-1900.

MESSIEURS,

La Commission que vous avez nommée dans votre précédente réunion l'honneur de vous rendre compte de l'exécution de son mandat.

Le compte de l'Exercice clos le 30 novembre dernier comprend les articles suivants :

Recettes.

En caisse au 1er décembre 1899		3675,88 fr
Cotisations arriérées	420,00 fr	7800,40
» 1900	7380,40	
Entrées		20,00
Souscriptions perpétuelles		1050,00
Intérêts du capital		2135,49
Vente des publications de la Société		1294,40
Subvention ministérielle		240,00
Don d'un membre anonyme (pour le Vol. III des Constantes)		6000,00
Divers		151,80
TOTAL DES RECETTES		22367,97

Dépenses.

Loyer du siège social	600,00 fr
Traitement de l'agent	2200,00
Abonnements et reliures	386,75
Indemnité pour le service de la Bibliothèque	300,00
Achats de livres	268,90
Bibliothèque circulante	75,40
Frais de bureau; étrennes	589,05
Distribution du *Bulletin* et des *Ordres du jour*	926,80
Recouvrement des cotisations	276,77
Frais d'expériences	98,00
Séance de Pâques	171,50
Gravure du *Bulletin*	121,05
Impressions Gauthier-Villars	6000,00
» Deslis	2723,75
Subvention à l'Institut bibliographique	250,00
Divers	56,50
TOTAL DES DÉPENSES	15044,47

D'où résulte un excédent de recettes, en caisse au 1er décembre 1900, de 7323,50

Mais il convient d'ajouter tout de suite que l'achat de 4 obligations effectué conformément aux Statuts dans les premiers jours de décembre 1900 et qui ne figurent point, par conséquent, au présent compte réduit cet encaisse de 1840fr,10 et le laisse à 5474fr,40.

Si, dans le résumé ci-dessus, on laisse de côté, d'une part l'encaisse au début de l'Exercice, les souscriptions perpétuelles et les dons, d'autre part la somme payée pour le Volume III des Constantes et une somme de 200fr pour achat de livres que la Commission a pensé devoir imputer sur le fonds Guebhard, on voit que les recettes normales de la Société ont été pendant l'Exercice de 11 642fr,09 et les dépenses courantes de 8 844fr,47 seulement.

Cette diminution dans les dépenses tient à ce que cette année, par suite de l'Exposition et du Congrès, il y a eu beaucoup moins de frais pour séances extraordinaires et surtout pour celle de Pâques.

Il est à remarquer que, dans le compte ci-dessus, la dépense relative à l'impression du Tome III du Recueil des Constantes, tiré à 1200 exemplaires, a été couverte, une fois de plus, par le don d'un membre anonyme.

Situation.

La situation de la Société au 30 novembre 1900 se résume ainsi :

Actif.

	fr
156 obligations Midi, Est et Ouest achetées 64604fr,80 et valant au 30 novembre 1900	70197,35
En caisse au 30 novembre 1900	7323,50
Total de l'actif immédiatement réalisable ...	77520,85

Passif.

Mémoires dus à M. Gauthier-Villars :

	fr
Pour le Tome III des *Constantes*	8700,00
Pour impressions diverses	105,40
	8805,40

Mémoires dus à MM. Deslis frères : mémoire

(Ces mémoires, malgré les instances de notre Trésorier, n'ayant pas été fournis par MM. Deslis, le chiffre n'en peut figurer ici.)

	fr
Si de l'actif immédiatement réalisable	77520,85
On retranche le passif	8805,40
Il ressort un excédent d'actif de	68715,45

D'autre part les souscriptions perpétuelles

	fr
S'élèvent, comme on le verra plus loin, à	51300
Le fonds Guébhard pour l'entretien de la Bibliothèque à	8800
Les dons pour le Recueil des *Constantes* à	6000
Ensemble	66100

Les obligations possédées par la Société représentent, au prix d'achat	64604^fr,80
A quoi il faut joindre 4 obligations achetées récemment	1849,10
Ce qui fait	66453,90

Somme supérieure de 353^fr,90 à celle qui, aux termes des Statuts (Art. 3 et 14), doit être placée en rentes sur l'État ou obligations des Chemins de fer français. C'est une situation satisfaisante que votre Commission est heureuse de signaler.

Actif non immédiatement réalisable.

Indépendamment des titres déposés en banque et qui constituent son avoir immédiatement réalisable, la Société possède, en dépôt chez M. Gauthier-Villars, un grand nombre de volumes qui augmentent sensiblement son avoir. En voici le relevé :

Coulomb	592	3634 volumes à 6^fr l'un	21804^fr,00
Ampère I	646		
» II	778		
Pendule I	765		
» II	853		
Constantes I	780	2660 volumes à 7^fr,50	19950,00
» II	873		
» III	1007		
Cotisations à recouvrer, estimées à			500,00
Total de l'actif non immédiatement réalisable			42254,00

Statistique.

Au 1er décembre 1899		880 Membres.
Reçus en 1900		50
Total		930
A déduire :		
Décédés	6	11
Démissionnaires ou rayés	5	
Membres au 1er décembre 1900		919

Savoir :

418 à Paris,
322 en province,
179 à l'étranger,

919

Pour la première fois le nombre des membres de la Société a dépassé le chiffre de 900, que l'on avait craint un moment de ne pouvoir atteindre. Il affirme la vitalité croissante de la Société.

Les Membres perpétuels sont au nombre de 264, savoir :

		fr		fr
250 (dont 43 décédés)	ayant versé...	200,	soit...........	50000,00
2 (dont 1 décédé)	» ...	150,	»	300,00
8 (dont 1 décédé)	» ...	100,	»	800,00
4	» ...	50,	»	200,00
264				51300,00

Les formalités relatives à la délivrance du legs de 1000fr fait par M. Martin (de Chartres) sont sur le point d'être terminées, et nous comptons bien qu'il pourra figurer au prochain compte rendu.

La Commission a constaté l'ordre et la régularité des écritures tenues par M. le Trésorier; elle vous propose, Messieurs, d'approuver les Comptes ci-dessus exposés, et elle vous demande, en outre, de vous joindre à elle pour adresser de sincères remercîments à M. de la Touanne.

Paris, le 10 janvier 1901.

Les Membres de la Commission,

GIRARDET, VIEILLE, J. GAY, Rapporteur.

SÉANCE DU 18 JANVIER 1901.

PRÉSIDENCE DE MM. CORNU ET PELLAT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 janvier est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. CARPENTIER (Jean), à Paris.
JAVAL (Jean), à Paris.
LANIÈS, Professeur au Lycée de Vendôme (Eure-et-Loir).
MUHLL (VON DER K.), Professeur ordinaire de Physique mathématique à l'Université de Bâle (Suisse).
MÜLLER (Victor), Professeur au Lycée du Puy (Haute-Loire).

M. le PRÉSIDENT annonce la perte douloureuse que la Société de Physique vient de faire en la personne de M. *Paul Vacher,* Chirurgien Dentiste de la Faculté de Médecine de Paris.

M. le PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts annonçant que le trente-neuvième Congrès des Sociétés Savantes s'ouvrira à Nancy, dans la salle Poirel, le mardi 9 avril prochain, à 2 heures précises. Les travaux se poursuivront durant les journées des mercredi 10, jeudi 11 et vendredi 12 avril.

Le samedi 13 avril, la séance générale sera présidée par M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts.

M. le Président déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Secrétaire général, du Vice-Secrétaire, du Trésorier-Archiviste, du renouvellement partiel du Conseil et de trois Membres pour la Commission du *Bulletin*.

M. le Président rappelle que le Rapport de la Commission des Comptes sur l'exercice 1899-1900 a été adressé à tous les Membres de la Société; il demande s'il y a quelques observations à faire à ce Rapport. Aucune observation n'étant présentée, le Rapport de la Commission des Comptes est mis aux voix et adopté.

M. le Président proclame le résultat du vote. Sont élus :

***Vice-Président :* M. Henri Poincaré, Membre de l'Institut.**
***Secrétaire général :* M. Henri Abraham, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.**
***Vice-Secrétaire :* M. R. Dongier, Sous-Directeur du Laboratoire d'Enseignement (Physique) à la Sorbonne.**
***Trésorier-Archiviste :* M. de la Touanne, Ingénieur des Télégraphes.**

Sont élus Membres du Conseil pour une période de trois années :

Membres résidants :

MM. Berthelot (Daniel), Docteur ès Sciences, Assistant au Muséum.
Bourgeois (Robert), Chef d'escadron d'Artillerie, Chef de la Section de Géodésie au Service géographique de l'Armée.
Haller, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences.
Lemoine (Georges), Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole Polytechnique.

Membres non résidants :

MM. Rytkatchew (Général), Directeur de l'Observatoire physique central Nicolas à Saint-Pétersbourg (Russie).
Du Bois (Henri), Professeur à l'Université de Berlin (Allemagne).
Charpentier (Dr A.), Professeur à la Faculté de Médecine de Nancy.
Houllevigue, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.

***Commission du* Bulletin :**

MM. Foussereau, Guillaume et Raveau.

M. Cornu, avant de quitter la Présidence, rend compte des travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler, puis cède le fauteuil à M. H. Pellat, Président pour l'année 1901.

M. Pellat, Président pour l'année 1901, préside ensuite la séance.

***Sur un nouveau cercle à calculs,* de M. Pierre Weiss. — M. Cotton, présente, au nom de M. Weiss, un nouveau cercle à calculs qui diffère**

d'une manière assez marquée des cercles et des règles usuels. Ces derniers comportent toujours deux graduations contiguës; au contraire l'instrument actuel comporte *une seule* division logarithmique, gravée sur métal, suivant une circonférence, qui, dans l'appareil présenté, construit par M. Werlein, a 16^{cm} de diamètre. Cette graduation possède, comme celle de tous les autres *cercles* à calcul, la propriété de se juxtaposer à elle-même un nombre indéfini de fois. Elle est donc équivalente à une règle de longueur indéfinie, sur laquelle une échelle logarithmique, de 1 à 10, occuperait environ 50^{cm}.

Sur cette graduation se meuvent deux aiguilles que M. Weiss appelle l'*indicatrice* et la *multiplicatrice*. L'indicatrice entraîne toujours dans son mouvement la multiplicatrice; celle-ci, au contraire, peut se mouvoir seule, sans déplacer l'indicatrice.

Toutes les propriétés de l'instrument sont évidentes si l'on remarque que, entre les nombres représentés par deux points distants sur le cadran d'un angle constant, il y a un rapport constant (la différence de leur logarithme étant constante).

On se rend compte immédiatement des règles très simples qu'il faut appliquer pour effectuer les opérations courantes $\left(\text{calcul d'expressions de la forme } a \times b,\ a \times b \times c \times \ldots,\ \frac{a}{b},\ \frac{a}{b} \times c, \text{ etc.}\right)$ sans faire la lecture d'aucun résultat intermédiaire. Le résultat final se lit toujours immédiatement à l'extrémité de l'aiguille *indicatrice;* cette lecture est facilitée par la présence d'*une seule* graduation.

Les manœuvres à faire ont un caractère de simplicité tel qu'elles sont en quelque sorte automatiques, et que l'attention de l'opérateur n'entre en jeu qu'à l'instant des pointés. (Le pointé de l'origine de la graduation, qui intervient dans les premières opérations, peut être supprimé à l'aide d'un butoir *facultatif* qui arrête l'aiguille multiplicatrice dans la position requise.)

C'est pour accentuer ce caractère de simplicité de l'appareil que M. Weiss a évité la complication de cercles concentriques permettant d'obtenir les racines carrées, les lignes trigonométriques, etc. Il a préféré s'en tenir aux opérations, beaucoup plus fréquentes dans la réduction des observations de physique, de la multiplication et de la division.

Avec l'appareil présenté l'on obtient très facilement une précision minima de $\frac{1}{2000}$, même dans les opérations compliquées.

Sur la cohésion diélectrique des gaz, par M. E. Bouty. — M. Bouty a annoncé qu'un gaz, contenu dans une enveloppe de verre et placé dans un champ électrostatique se comporte comme un diélectrique parfait tant que le champ n'a pas atteint une certaine limite y, au-dessus de laquelle le gaz cède et livre passage à de l'électricité comme le ferait un conducteur métallique de forme et de volume identiques.

L'objet de sa Communication actuelle est, en premier lieu, de montrer la généralité de ce résultat. M. Bouty a opéré sur cinq gaz ou mélanges de gaz et sur une quinzaine de vapeurs, telles que vapeurs d'alcools, d'éthers simples ou composés, de sulfure de carbone, de benzine et même vapeur d'eau. C'est un préjugé assez répandu de croire que la vapeur d'eau est conductrice. Elle est parfaitement isolante et, si elle paraît conduire dans les conditions ordinaires, cela tient exclusivement à ce que les corps solides, et le verre en particulier, se recouvrent, à l'air humide, d'une buée conductrice. Or, celle-ci disparaît, à l'intérieur des récipients de verre employés par M. Bouty, dès que la pression tombe au quart, par exemple, de la pression de saturation. Pour des pressions plus faibles, les mesures des champs critiques y ne présentent aucune difficulté.

Quand la pression est supérieure à quelques millimètres de mercure, les

champs critiques y, pour tous les gaz ou vapeurs étudiés par M. Bouty, sont représentés par des fonctions linéaires de la pression. Or, on sait que, pour une distance explosive invariable, la différence de potentiel nécessaire pour produire une étincelle dans un gaz, entre des électrodes à peu près planes (et par conséquent aussi le *champ explosif*), est une fonction linéaire de la pression. Il y avait intérêt à comparer les champs critiques dans les tubes sans électrodes aux champs explosifs correspondants. Cette comparaison a pu être faite, d'une façon au moins approchée, en utilisant des nombres relatifs aux champs explosifs dans l'air, l'hydrogène et l'acide carbonique, publiés en Allemagne par M. Max Wolf. Pour l'hydrogène en particulier, M. Bouty trouve une coïncidence presque parfaite du terme qui dépend de la pression, tandis que, pour le terme indépendant, il trouve un nombre quarante fois plus faible, en nombres ronds, que le nombre de M. Wolf.

De là il paraît légitime de conclure que le terme constant se rapporte principalement à l'effet propre des électrodes, lesquelles interviennent d'une façon certainement très importante dans le phénomène de la décharge explosive. Le terme proportionnel à la pression mesurerait l'effet propre du gaz. Le faible terme constant qui persiste dans les expériences de M. Bouty se rapporte sans doute à l'effet du verre, qui, très faible par rapport à celui d'électrodes métalliques, ne serait cependant pas nul.

A des pressions suffisamment basses, le champ critique y, au lieu de continuer à décroître avec la pression, passe par un minimum, puis croît indéfiniment, à peu près en raison inverse du carré de la pression.

On parvient à représenter les champs critiques y, avec une précision du même ordre que celle des expériences, à l'aide d'une formule à quatre constantes que l'on obtient en considérant le champ critique comme l'ordonnée d'une courbe formée par l'addition des ordonnées d'une hyperbole du second degré et d'une hyperbole cubique. L'hyperbole du second degré a son sommet sur l'axe des y, et son asymptote inclinée, à laquelle elle se réduit souvent, donne la fonction linéaire relative aux hautes pressions. L'hyperbole cubique est asymptote aux deux axes, et sa branche asymptote à l'axe des y représente les champs critiques pour de très faibles valeurs de la pression.

A une observation de M. Villard relative à ce qui se passe aux pressions très basses des tubes de Crookes, M. Bouty répond qu'il n'a jamais eu à opérer à des pressions aussi faibles. Limité par la batterie d'accumulateurs dont il dispose et qui, actuellement, ne dépasse pas 6500 volts, il n'a guère exécuté de mesures au-dessous de $\frac{1}{50}$ de millimètre de mercure, tandis que, dans les tubes de Crookes, la pression est de l'ordre du millième de millimètre.

M. P. Villard rappelle que les remarques faites par M. Bouty sur la conductance des liquides, tels que l'huile ou la benzine, généralement considérés comme des isolants parfaits, lui ont permis d'interpréter correctement des expériences singulières faites par M. Jaumann, expériences qui conduisaient à des conclusions en désaccord complet avec ce que l'on sait sur les rayons cathodiques.

M. P. Villard décrit ensuite sommairement les phénomènes qui se produisent quand la cohésion diélectrique d'un gaz est vaincue. Soit, par exemple, une ampoule de Crookes actionnée par une machine statique munie de condensateurs : le faisceau cathodique convenablement diaphragmé est reçu dans un champ tournant, ce qui permet d'analyser la décharge et d'observer la déviation magnétique instantanée. A partir d'une certaine valeur de la différence de potentiel, les rayons apparaissent ; le débit augmente avec cette différence : si l'on arrête la machine, l'émission

s'arrête bientôt, et le condensateur reste chargé. La cohésion s'est rétablie d'elle-même et cette décharge est comparable à l'aigrette qui se produit entre les boules d'un excitateur, quand elles sont éloignées au delà de la distance explosive.

Si l'on fait croître la différence de potentiel, il arrive un moment où la rupture du diélectrique gazeux devient brusquement complète ; le condensateur se décharge *totalement* dans l'ampoule avec un bruit sec. Cette décharge a une durée appréciable et détermine une émission abondante de rayons plus déviés, donc moins rapides que précédemment. La déviation augmente avec la capacité : quand celle-ci atteint plusieurs mètres, les rayons n'excitent plus la fluorescence du verre, et l'on observe seulement l'illumination en masse du gaz, c'est-à-dire le phénomène de Geissler.

Ainsi, au moins pour les tubes à électrodes, il y a deux valeurs critiques de la différence de potentiel. La première correspond à une rupture réparable du diélectrique : la décharge est alors analogue à l'aigrette ; la seconde détermine une rupture complète, comme dans le cas de l'étincelle explosive ordinaire. Il semble que ce soit cette deuxième valeur du champ critique qu'on observe dans les tubes sans électrodes, où l'annulation du champ par la décharge est complète.

Sur l'acoustique des salles; par M. Wallace SABINE. — M. BOUTY résume brièvement ces recherches, qui ont été exposées par leur auteur dans sept Mémoires publiés dans le journal *American Architect*, et dont une analyse a paru dans le numéro de janvier 1901 du *Journal de Physique*.

M. Sabine mesure la durée de son résiduel, lorsque l'on ferme brusquement la valve d'une soufflerie alimentant un tuyau d'orgue. Il trouve que cet élément est susceptible de mesure précise, qu'il est le même en quelque point d'une même salle que l'on place le tuyau sonore ou l'auditeur, qu'il varie d'ailleurs largement d'une salle à une autre ou, dans une même salle, suivant l'ameublement. C'est donc un élément caractéristique de l'audition moyenne, dont l'étude approfondie a conduit M. Sabine à une remarquable série de conclusions.

En premier lieu, M. Sabine montre que, si l'on recouvre de coussins les bancs de bois d'un amphithéâtre, la durée du son résiduel varie avec la longueur totale des coussins suivant une loi hyperbolique. Une tenture placée dans la salle équivaut, au point de vue du son résiduel, à une certaine longueur de coussins. Il en est de même d'une fenêtre ouverte, d'un gros meuble apporté dans la salle, enfin d'un certain nombre d'auditeurs isolés ou réunis. Une fenêtre ouverte de un mètre carré, par exemple, laisse perdre au dehors la totalité de l'onde qui l'atteint ; elle constitue donc une unité très rationnelle pour évaluer les absorptions produites par les murs de la salle ou par les divers objets qu'elle contient.

M. Sabine montre que la loi de décroissement du son résiduel est exponentielle, ainsi qu'on pouvait le prévoir, et que l'exposant, pour des salles très diverses, est indépendant de la forme et ne dépend que du volume, d'une part, et du pouvoir absorbant des parois et des meubles, d'autre part. Il devient donc possible, par une série d'expériences rationnellement conduites, de déterminer les pouvoirs absorbants des diverses parois et objets de toute nature meublant une salle, et de prévoir la durée du son résiduel correspondant.

L'expérience a montré que, dans de bonnes salles, la durée du son résiduel s'écarte peu de deux secondes à deux secondes et demie, si l'on suppose l'intensité initiale égale à un million de fois celle du plus faible son perceptible.

Le Tableau suivant contient quelques-uns des résultats publiés par M. Sabine.

Pouvoirs absorbants :

Fenêtre ouverte	1,000
Revêtement en pin dur	0,061
Verre, simple épaisseur	0,033
Plâtre sur tuile	0,025
Briques réunies par du ciment de Portland	0,025
Peintures à l'huile avec leurs cadres	0,28
Tapis orientaux extra-lourds	0,29
Rideaux	0,23
Linoléum posé sur le sol	0,12
Sièges rembourrés, crin et cuir, par places	0,28
Auditoire, par mètre carré	0,96
— par personne	0,44
Homme isolé	0,48
Femme isolée	0,54

Dans les salles de concert, si l'on évite les draperies et les sièges rembourrés, la presque totalité de l'absorption est due à l'auditoire.

M. A. Broca attire l'attention sur une conséquence physiologique importante des expériences de M. Sabine, que M. Bouty vient d'exposer. On sait, par l'étude de l'œil, que la valeur du *seuil de l'excitation* est extrêmement variable suivant son état d'*adaptation*, c'est-à-dire suivant la grandeur de la lumière qui vient de l'impressionner.

M. Sabine a montré, au contraire, que la loi théorique exponentielle de la décroissance du son était vérifiée avec une grande approximation, en supposant que la valeur du seuil de l'excitation pour l'oreille qui vient d'être impressionnée par 1, 2, 3 ou 4 tuyaux, était la même. C'est une démonstration qui semble indiscutable de l'effet, au moins très petit, de l'*adaptation* sur la sensibilité auditive.

La différence des phénomènes physiologiques dans les deux organes rend plausible ce résultat de l'expérience. Dans l'œil, en effet, il y a équilibre constant entre la destruction du pourpre rétinien et autres substances analogues sous l'action de la lumière et leur reconstitution par le sang, et c'est le phénomène fondamental de la transformation de l'énergie lumineuse en énergie nerveuse. Dans l'oreille, il semble bien que l'excitation soit due à l'action, sur l'organe de Corti, d'ondes propagées dans le limaçon. La composition chimique de l'organe de Corti ne semble pas varier sensiblement sous cette action, et c'est là la raison des différences essentielles entre les résultats donnés par la lumière et ceux donnés par le son suivant les expériences de M. Sabine.

SÉANCE DU 1er FÉVRIER 1901.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 18 janvier est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. COURTOIS (l'abbé F.), Professeur à l'Ecole Notre-Dame de Bon Secours, à Brest (Finistère).
LEMERAY (Maurice), Licencié ès Sciences mathématiques et physiques, Ingénieur civil à Saint-Nazaire (Charente-Inférieure).
SIEGLER (Jean), Elève Ingénieur des Mines à Paris.
VINCENT (l'abbé), Professeur à l'Institution Saint-François de Sales, à Alençon (Orne).
LA BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Paris.

M. Henri POINCARÉ, élu Vice-Président; M. ABRAHAM, élu Secrétaire général; M. DONGIER, élu Vice-Secrétaire; M. DE LA TOUANNE, élu Archiviste-Trésorier; MM. Daniel BERTHELOT, Robert BOURGEOIS, HALLER, Georges LEMOINE, le général RYTKATCHEW, DU BOIS, CHARPENTIER, HOULLEVIGUE, élus Membres du Conseil; MM. FOUSSEREAU, GUILLAUME, RAVEAU, élus Membres de la Commission du *Bulletin,* adressent leurs remercîments à la Société.

Sur les causes de variation de l'acuité visuelle. — M. BROCA rappelle les propriétés de l'œil au point de vue du sens des formes. Il indique qu'un œil est caractérisé par l'acuité visuelle 1 quand il résout des détails vus sous le diamètre apparent de 1'; il montre par des chiffres que l'acuité visuelle augmente de 0,65 à 0,84 par l'adaptation pour des éclairements de 1 bougie-mètre environ. M. Charpentier a vu que, pour les éclairements très faibles donnant le sens visuel, l'adaptation n'a que très peu d'effet; M. Broca a vu que, quand on prend un test-objet formé de quelques traits blancs sur fond absolument noir, si l'éclairement du blanc est notable, l'adaptation n'a aucun effet sensible. Il étudie ensuite l'acuité visuelle quand le rapport $\frac{I'}{I}$ des éclairements des traits voisins varie. Pour $\frac{I'}{I}$ compris entre 0 et 0,08 l'acuité ne varie pas. De 0,8 à 0,15 l'acuité tombe de 1 à 0,9, puis elle varie très lentement jusqu'à $\frac{I'}{I} = 0,6$, puis tombe brusquement. Ceci a lieu pour $I = 40$ bougies-mètre environ. Pour $I = 5$ bougies-mètre environ, l'acuité d'abord de 0,9 y reste jusqu'à $\frac{I'}{I} = 0,1$, puis elle décroît moins vite que pour $I = 40$ bougies-mètre dans la zone comprise entre $\frac{I'}{I} = 0,1$ et $\frac{I'}{I} = 0,15$. Le reste de la courbe a la même allure.

La courbe de variation de l'acuité visuelle en fonction de l'intensité pour $\frac{I'}{I} = 0,6$ montre qu'elle commence à décroître pour une intensité

triple ou quadruple de celle qui fait décroître l'acuité visuelle pour $\frac{I'}{I} = 0$. Ceci explique l'effet considérable de l'adaptation pour la vision des détails en radioscopie.

Enfin en étudiant au moyen du disque de Masson ce qui se produit quand $\frac{I'}{I}$ tend vers la limite discernable, M. Broca a constaté que la sensibilité croît jusqu'à ce que les plages soient vues sous l'angle 15′ à 20′; la décroissance de la sensibilité est très lente entre 15′ et 9′ (de 0,08 à 0,01), puis varie très vite. Quand on dépasse une vingtaine de minutes, la sensibilité décroît un peu. En somme, il faut que les plages du photomètre soient vues sous un angle d'environ 20′, et que l'une d'elles soit entourée par l'autre. Si l'on peut avoir une série de plages alternantes de ces dimensions formant un gril, éclairées les unes par l'une des lumières, les autres par l'autre, le résultat sera le meilleur.

A propos de la communication de M. Broca, M. Villard indique une observation expérimentale qu'il a faite au sujet de la loi suivante : La sensibilité de l'œil pour une faible lumière augmente quand l'œil vient de recevoir une faible impression supplémentaire. Il compare cet accroissement de sensibilité de la rétine à celui qu'une plaque photographique acquiert grâce à un voile préalable.

M. Broca indique une observation qui rentre dans la loi formulée par M. Villard.

Sur l'erreur capillaire dans les thermomètres à mercure. — M. Ch.-Éd. Guillaume revient sur la question des erreurs dues à la capillarité dans les thermomètres à mercure, dont il a déjà entretenu la Société autrefois et qui a aussi été signalée par d'autres auteurs, notamment par M. Pernet. Ayant eu l'occasion, dans ces dernières années, d'étudier des thermomètres divisés en cinquantièmes ou en centièmes de degré et d'une construction extrêmement soignée, il a pu faire de nouvelles mesures de cette erreur.

L'angle de raccordement du ménisque mercuriel avec le verre dépend du sens de la marche de la température. Les deux limites sont atteintes lorsque la température est franchement ascendante ou descendante. Mais si, après une descente ayant provoqué un déplacement du ménisque, il se produit une élévation très faible de la température, l'angle de raccordement diminue sans que le ménisque dans son entier éprouve un déplacement. La variation de la température modifie seulement la pression capillaire, et, tant que la variation de volume du mercure est compensée par une variation du réservoir correspondant au changement de la pression, l'élévation de la température reste cachée. C'est seulement lorsque l'angle limite est atteint que le ménisque se déplace parallèlement.

L'auteur a montré autrefois que les retards d'ascension pour les thermomètres différents sont grossièrement proportionnels à la racine carrée de l'étendue du degré, que l'allongement de celui-ci soit obtenu par une diminution du diamètre du tube ou par une augmentation du volume du réservoir, sans augmentation correspondante de l'épaisseur des parois, qui nuirait à la sensibilité de l'instrument.

On peut déterminer la grandeur de l'erreur capillaire par un procédé consistant à pratiquer autour du thermomètre, placé dans un tube, une légère diminution de la pression qui abaisse le ménisque, puis à observer l'instant précis où te produit le premier déplacement parallèle, dû à une

ascension lente et régulière de la température. Des mesures faites en divers endroits d'un thermomètre divisé en centièmes de degré appartenant à M. de Coppet, et admirablement construit par M. Baudin, ont montré que l'erreur capillaire varie, d'un point à l'autre du thermomètre, dans la proportion du simple au double, sans que cette variation puisse s'expliquer par les changements du diamètre ou par la conicité du tube; elle est due certainement à des différences dans la surface du verre.

M. Guillaume montre ensuite comment on peut se libérer de l'erreur capillaire dans la détermination du coefficient de pression du thermomètre. Cette erreur rend illusoire l'allongement du degré au delà d'une certaine valeur, et impose au thermomètre à mercure une limite dans la mesure des petits intervalles de température.

M. Ponsot, en étudiant un thermomètre, a déterminé directement la correction de pression intérieure à faire subir à la lecture d'un thermomètre placé verticalement, en faisant des lectures successives, le thermomètre étant alternativement horizontal et vertical, à température fixe, et cela en des points très nombreux de la tige thermométrique.

La courbe représentative de ces corrections, en prenant pour abscisses les divisions du thermomètre, présente des maxima et des minima.

De la courbe des corrections de calibrage, M. Ponsot a déduit pour chaque point du thermomètre des longueurs équivalentes ou correspondant à un volume invariable.

Il a constaté que les maxima de la courbe de correction de la pression intérieure correspondaient aux points où les longueurs équivalentes étaient aussi maxima.

Il en conclut que, malgré les variations de la section intérieure du tube thermométrique, ainsi mises deux fois en évidence, *il n'y a pas eu d'erreur sensible ou mesurable provenant de la variation de la pression capillaire.*

M. Guillaume, répondant à M. Ponsot, insiste sur le fait que la correction de calibrage est toujours appliquée aux résultats bruts avant qu'on la soumette à d'autres calculs. Cette première correction une fois faite, on ne trouve plus aucune relation entre la correction capillaire et la forme du tube; ou tout au moins cette relation qui existe en théorie est entièrement masquée par une autre cause de variation indépendante de la forme du tube.

Photographies d'ondes aériennes. — M. Raveau rappelle comment M. Wood est parvenu à obtenir des images d'ondes aériennes émanant d'une étincelle électrique, par l'emploi de la méthode de Töpler (*Schlierenmethode*), qui est une extension d'un procédé inventé par Foucault pour rendre directement visibles les défauts d'un miroir ou d'un objectif (voir *Philosophical Magazine*, t. XLVIII, p. 218, août 1899, et t. L, p. 148, juillet 1900; *Nature*, t. LXII, p. 342, 9 août 1900, et *Journal de Physique* (3), t. VIII, p. 627 et t. X, p. 72). Les seize photographies projetées par M. Pellin représentent, en leurs phases successives : la diffraction par un petit écran; la formation d'un train d'ondes régulières par la réflexion sur un escalier; la réflexion d'une onde sphérique par un miroir plan; la réflexion par un miroir cylindrique circulaire; deux cas de réflexion par un miroir demi-circulaire; la réflexion par un miroir elliptique complet; la transformation d'une onde sphérique en onde plane par un miroir parabolique; la même transformation par une lentille pleine d'acide carbonique; la réflexion par une surface mamelonnée avec production

d'ondes paragéniques: le passage d'une onde à travers un réseau; la diffraction par un petit trou; deux cas de réfraction par une surface plane; la réfraction par un prisme d'acide carbonique et par un prisme d'hydrogène.

Les clichés, mis en vente par la maison Newton et Cie de Londres, appartiennent au Laboratoire d'Enseignement de la Physique, à la Sorbonne.

SÉANCE DU 15 FÉVRIER 1901.

PRÉSIDENCE DE M. PELLAT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er février est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. HENRY (Victor), Préparateur de Physiologie à la Faculté des Sciences de Paris.
HERSK (Ch.-Alexandre), Professeur au Collège de Soissons.
LOCHERER, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Paris.
NORDMANN, Licencié ès Sciences, à l'Observatoire d'Astronomie physique de Meudon.
ROUBAULT, Professeur au Lycée d'Angoulême.

M. le PRÉSIDENT annonce qu'un généreux anonyme a fait don à la Société d'une somme de 3000fr. Des applaudissements accueillent cette Communication.

M. le PRÉSIDENT propose de nommer *Secrétaire général honoraire* M. LUCIEN POINCARÉ, recteur de l'Académie de Chambéry, dont le passage trop court au Secrétariat général a été si profitable à la Société.

Cette proposition adoptée la veille par le Conseil est immédiatement votée à l'unanimité des Membres de la Société présents à la séance.

M. CRÉMIEU annonce que les résultats de ses nouvelles expériences *sur la convection électrique* confirment tous ceux de ses précédents essais.

Il a pu, en outre, découvrir deux nouvelles causes d'erreurs par suite desquelles on peut observer des déviations d'un système magnétique placé au voisinage d'un corps chargé en mouvement; ces déviations peuvent se présenter avec tous les caractères de réversibilité et sont du même ordre de grandeur que ceux attendus de l'effet magnétique de la convection.

Il est donc très naturel que d'autres aient pu se tromper.

M. Crémieu conclut donc aujourd'hui que, dans les conditions où MM. Rowland et Himstedt ont opéré comme dans ses propres expériences, *la convection électrique ne produit pas d'effet magnétique.*

Sur quelques compteurs à courants alternatifs, par M. P. JANET. — M. P. JANET présente à la Société un assez grand nombre de nouveaux

compteurs ayant figuré à l'Exposition universelle, principalement pour courants alternatifs. Il fait à ce sujet un exposé des diverses méthodes que les électriciens ont imaginées pour réaliser dans la construction des compteurs d'électricité la condition fondamentale : couple moteur proportionnel à la puissance à mesurer et couple résistant proportionnel à la vitesse (celle-ci donnée, dans tous les compteurs présentés à la Société, par un disque métallique tournant entre les branches d'un aimant). Suivant la manière de réaliser le couple moteur, les compteurs se classent en deux groupes :

1° Compteurs moteurs du type Thomson, comprenant deux circuits, l'un fixe, l'autre mobile (pouvant servir aussi dans le cas des courants continus). M. P. Janet rappelle rapidement le principe de ces compteurs bien connus et donne quelques indications sur les artifices employés pour éviter, dans le cas des courants alternatifs, l'erreur résultant du décalage dû à la self-induction du circuit à fil fin (par exemple, emploi d'une spire en court-circuit placée dans la bobine à gros fil).

2° Les compteurs à champ tournant.

On réalise ici un *champ elliptique tournant* (analogie optique) en superposant deux champs rectangulaires alternatifs d'amplitude H et H′ décalés d'un angle φ, par le moyen de deux circuits, l'un à gros fil, l'autre à fil fin. Ce champ elliptique tournant équivaut à deux champs tournants ordinaires, d'intensités inégales, lesquels tendent à entraîner en sens opposés un conducteur de révolution, mobile autour de l'axe commun. La différence des deux couples, que l'on calcule facilement par un raisonnement géométrique, est le couple moteur de l'appareil; il est proportionnel à $HH' \sin\varphi$. Le circuit à gros fil fournit H proportionnel à l'intensité du courant; on s'arrange de manière que le champ H′ du circuit à fil fin soit proportionnel à la force électromotrice alternative et *en quadrature* avec celle-ci. Alors la vitesse de rotation du conducteur placé dans le champ elliptique tournant est proportionnelle à la puissance à mesurer. — On a imaginé bien des procédés pour obtenir le décalage de $\frac{\pi}{2}$ entre H′ et la force électromotrice. M. P. Janet indique les ingénieuses solutions représentées par les compteurs : *Hartmann* et *Braun; Raab; Hummel; Batault.*

M. P. Janet passe ensuite aux *Compteurs spéciaux aux courants triphasés* en imaginant, par exemple, un montage *en étoile*. Il fait au tableau le diagramme des divers vecteurs à considérer et classe les compteurs pour courants triphasés suivant les trois types de formules par lesquelles on peut exprimer la puissance P, savoir :

$$P = e_1 i_2 - e_2 i_1 \text{ (notations bien connues)},$$
$$2P = i_1(e_3 - e_2) + e_1(i_2 - i_3),$$
$$3P = (i_1 - i_3)(e_3 - e_2) - (i_2 - i_3)(e_3 - e_1).$$

Dans tout compteur triphasé à champ tournant, il y a deux systèmes tournants montés sur le même arbre, entraînés par des couples respectivement proportionnels à chacun des deux termes du second membre des formules précédentes. M. P. Janet présente la solution fournie par les compteurs *Siemens* et *Halske, Hummel, Schuckert;* dans le cas le plus général des courants triphasés à quatre fils, il est nécessaire d'employer une équation plus générale que les précédentes : certains compteurs (*Aron, Thomson*) s'appliquent à ce cas.

Spectres d'absorption de quelques groupes de matières colorantes. — Loi des groupes auxochromes; par M. P. Lemoult. — M. Lemoult

rappelle, à propos des colorants du triphénylméthane et des indophénols, les principes de la théorie des matières colorantes : 1° la présence d'un groupe qui réunit plusieurs noyaux aromatiques, c'est le chromophore qui avec les noyaux forme le chromogène; la nature de ce groupement sert de critérium pour la classification des colorants par familles; 2° la présence d'au moins un et souvent de plusieurs groupes AzH^2 ou OH ou leurs dérivés *placés dans des positions privilégiées,* généralement en para de la liaison chromophorique; ces groupes sont les auxochromes; il y a trois sortes d'auxochromes azotés, AzH^2 ou azote primaire, $AzHR_1$ azote secondaire, AzR_1R_2 azote tertiaire (R_1R_2 sont des radicaux gras ou aromatiques). On trouve encore d'autres groupes tels que CH^3, C^2H^5, etc., AzO^2, SO^3H, CO^2H ou même AzH^2 et OH dans les positions non privilégiées, mais ces groupes n'ajoutent rien à la fonction colorante; ce sont des groupes non significatifs (quelques-uns d'entre eux ont toutefois une très grande importance au point de vue des applications tinctoriales).

M. Lemoult indique que l'étude des spectres d'absorption des colorants dissous (dilution moléculaire et épaisseur constantes) l'a conduit à l'observation des trois faits suivants: *a.* Possibilité d'obtenir avec la plupart des colorants un spectre discontinu qui présente toujours une bande lumineuse rouge assez étroite et assez fréquemment une large bande du côté du vert ou du violet; *b.* La position du milieu de cette bande rouge (défini d'une façon approchée suffisante par la moyenne des positions des deux bords de cette bande) reste invariable pour une même famille de colorants quand on examine des corps ne différant entre eux que par des groupes non significatifs ou par des auxochromes azotés non tertiaires; *c.* La position du milieu de cette bande se déplace au contraire, toujours pour une même famille, quand on fait varier le nombre des auxochromes azotés tertiaires. L'ensemble de ces deux paragraphes forme la loi des auxochromes azotés.

M. Lemoult la démontre en projetant les spectres d'absorption de quelques colorants du triphénylméthane; ceux qui ont deux auxochromes azotés tertiaires donnent une bande rouge entre $0^{\mu},70$ et $0^{\mu},66$: milieu $0^{\mu},68$; ceux qui ont deux auxochromes tertiaires et un autre auxochrome non tertiaire donnent une bande rouge de même position; ceux qui ont au contraire trois auxochromes tertiaires donnent une bande rouge entre $0^{\mu},680$ et $0^{\mu},650$: milieu $0^{\mu},665$. La projection simultanée des spectres d'absorption d'une solution d'un colorant de la première ou de la seconde catégorie, et d'une solution d'un corps de la troisième catégorie montre nettement le déplacement de la bande rouge (les solutions sont à égale dilution moléculaire).

D'ailleurs les spectres d'absorption comprennent en général, outre cette bande rouge, une plage lumineuse variable avec chaque échantillon et dont l'étendue et la position constituent les caractères individuels à chaque colorant; la bande rouge *caractère de famille* est la plus persistante, et elle subsiste alors que l'absorption est déjà suffisante pour faire disparaître les caractères individuels.

En ce qui concerne les indophénols, M. Lemoult rappelle les expériences de MM. Camichel et Bayrac, qui ont étudié les indophénols à azote tertiaire et montré, par de nombreuses expériences, qu'ils donnent tous la même bande rouge de position invariable. M. Lemoult fait remarquer que ses observations diffèrent de celles-là, puisqu'il a remarqué le déplacement de la bande rouge, et, puisqu'en s'adressant à des indophénols à azote primaire, il a obtenu une bande rouge dont la position diffère de celle qui correspond aux indophénols à azote tertiaire. Ceci rentre dans la loi des auxochromes, dont les déterminations de MM. Camichel et Bayrac ne font pas soupçonner l'existence, puisqu'elles n'ont rapport qu'au paragraphe *b.*

M. Lemoult montre ensuite les déformations du spectre d'absorption

quand la dilution varie; et, remarquant que les triphénylméthanes eux-mêmes, qui donnent si facilement la bande rouge, peuvent donner un spectre presque normal quand la dilution augmente, il a été amené à se demander si en modifiant les conditions expérimentales il n'arriverait pas à obtenir un spectre discontinu avec bande rouge pour tous les colorants. Cette supposition s'est trouvée vérifiée pour les thiazines, les oxazines, quelques alizarines, etc., et M. Lemoult pense mettre ces observations à profit pour tenter de nouvelles vérifications de la loi des auxochromes azotés tertiaires.

M. le Secrétaire général donne lecture d'un télégramme que lui adresse de Toulouse M. Camichel. M. Camichel rappelle ses expériences sur les indophénols, qui remontent à plusieurs années, recherches au cours desquelles il a énoncé le premier une loi analogue à celle donnée par M. Lemoult. Il signale la nécessité d'employer des corps purs et non des corps industriels, et insiste particulièrement sur la nécessité de mesures photométriques pour ne pas risquer de confondre l'extrémité du spectre visible avec le bord d'une bande d'absorption.

A propos de ces remarques, M. Lemoult répond que la loi énoncée par MM. Camichel et Bayrac n'a qu'une analogie lointaine avec la loi des auxochromes, comme il vient de le faire voir; en ce qui concerne la pureté des corps employés, M. Lemoult pense s'être mis à l'abri de toute critique à ce sujet. Enfin, M. Lemoult fait remarquer qu'on ne saurait confondre le bord d'une bande lumineuse commençant à $0^{\mu},68$ avec la limite du spectre visible, et cela d'autant plus que, les triphénylméthanes à 2 azotes tertiaires donnant une bande rouge commençant à $0^{\mu},70$, la confusion ne saurait porter à la fois sur ces deux déterminations. D'ailleurs, la projection simultanée de deux spectres convenablement choisis met hors de doute le déplacement de la bande rouge dans les conditions indiquées.

SÉANCE DU 1er MARS 1901.

Présidence de M. Pellat.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 15 février est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. Guilleminot, Docteur en médecine, à Paris.

M. le Président annonce la perte douloureuse que la Société vient de faire en la personne de M. *Jules Chautard,* Doyen honoraire de la Faculté des Sciences de l'Université catholique de Lille; ancien Professeur et ancien Doyen de la Faculté des Sciences de Nancy.

M. Cartaud fait, au nom de M. Ch. Frémont, une Communication sur les *Lignes superficielles apparaissant dans le sciage des métaux.* —

Quand on scie des métaux laminés ou simplement coulés, tels que le fer, les aciers de toutes nuances, la fonte, le cuivre, le laiton, le bronze, etc., il apparaît sur les deux faces résultant de ce sciage des lignes autres que celles qui sont occasionnées par le trait de scie.

Le phénomène ne dépend ni de la nature des métaux mis en œuvre, ni de particularités de leur structure.

En éclairant obliquement une des sections obtenues, on observe, sous une incidence convenable, une succession de bandes étroites alternativement claires et sombres; l'apparence peut, d'ailleurs, être inversée par une rotation de 180° de la plaque, les parties claires devenant sombres, et les parties sombres s'éclairant à leur tour. Cet effet de lumière accuse entre deux bandes consécutives une légère dénivellation, quelquefois perceptible au toucher, accompagnée d'un ressaut rarement brusque, mais plutôt arrondi.

Ces bandes, de deux en deux en creux ou en relief, sont parallèles entre elles et obéissent à cette loi simple d'être également parallèles aux deux bords opposés traversés par la scie. Les choses se passent comme si les deux profils étaient transportés par le sciage parallèlement à eux-mêmes, à des intervalles déterminés et constants.

Quand les bords opposés, dont elles reproduisent le profil, sont deux lignes parallèles, comme dans une barre à section carrée ou rectangulaire, et que le sciage est effectué suivant une direction parallèle à deux côtés opposés, il n'y a qu'un seul système de lignes; ce sont des droites parallèles, ayant alors le *maximum* de largeur.

Si le sciage est effectué dans la même barre suivant une diagonale de la section rectangulaire, le profil attaqué par le trait de scie est un angle droit; il y a alors deux systèmes de lignes.

Si la barre est triangulaire, il y a deux systèmes de lignes parallèles aux deux côtés du triangle et inclinés par rapport au trait de scie.

Si la barre a pour section un triangle superposé à un rectangle, on retrouve les deux systèmes de lignes suivant la même loi.

Quand la barre est cylindrique, les deux systèmes de lignes sont composés d'arcs de cercle.

Quand le profil est complexe, c'est-à-dire composé d'arcs, de lignes droites ou brisées, etc., les deux systèmes de lignes sont toujours des parallèles aux profils des bords attaqués par le trait de scie.

Il est à remarquer que les deux systèmes de lignes, venant des bords opposés, vont l'un vers l'autre; que les lignes se rencontrent, se coupent et se dépassent; aussi voit-on parfois, près d'un des bords du morceau de métal scié, les traces des lignes provenant du bord opposé.

Quand les bords opposés sont asymétriques, les deux systèmes de lignes paraissent s'affaiblir en se rencontrant.

Il peut y avoir, dans certains cas, un troisième système de lignes; ainsi, dans le sciage d'une barre à section carrée sciée suivant la diagonale, on voit, en plus des deux systèmes de lignes constatés, un troisième système produit par un mouvement vibratoire supplémentaire occasionné, semble-t-il, par un serrage élastique de la barre pendant l'opération du sciage.

Ces lignes sont différentes des lignes de Lüders, car elles sont constantes, régulières, géométriques et de forme déterminée, obéissant toujours à cette même loi d'être parallèles aux profils des bords attaqués par le trait de scie.

Ces lignes semblent, à première vue, représenter des ondes stationnaires résultant d'un mouvement vibratoire. Cependant, dans l'incertitude où nous sommes, il n'est pas mauvais de mentionner l'avis d'un spécialiste en sciage de métaux, l'ingénieur Régnard, qui, sans hésitation, assigne à la *voie* de la scie la cause première du phénomène.

Répondant aux questions posées par divers membres de la Société,

M. CARTAUD dit que les phénomènes de *lignes superficielles* apparaissent quels que soient la structure mécanique de la pièce métallique sciée et son mode de préparation (par laminage, coulage, etc.). — D'autre part, la vitesse du sciage de la pièce métallique n'a pas d'influence notable, et l'on obtient très bien les lignes superficielles en sciant d'une manière quelconque au moyen d'une scie à main. Mais la netteté des lignes superficielles dépend de la *voie* de la scie, c'est-à-dire de l'écart transversal que l'on donne aux dents de la scie alternativement à droite et à gauche du plan de la lame de scie.

M. A. CORNU fait remarquer l'importance que peut avoir la vibration transversale des dents de la scie, vibration qui doit, grâce à la *voie* de la scie, accompagner le mouvement du sciage.

M. CRÉMIEU fait observer que les lignes superficielles apparaissent aussi dans le *fraisage* des pièces métalliques.

M. A. CORNU dit qu'il ne faut pas s'étonner de voir des lignes superficielles périodiquement espacées produites par des actions aussi différentes que le *sciage* et le *fraisage :* quelle que soit la pièce agissante, il tend à se produire un mouvement périodique défini par les lois de l'élasticité.

M. CARTAUD ajoute qu'en effet le *rabotage* des métaux produit aussi le phénomène des lignes superficielles.

Appareil de mesure des courbures et des éléments d'un système optique quelconque; par M. R. DONGIER. — L'appareil présenté par M. DONGIER permet la mesure des courbures des surfaces réfléchissantes. Il peut aussi servir à la détermination des éléments d'un système optique quelconque convergent ou divergent. Il comporte, comme accessoire essentiel, un viseur autocollimateur dans lequel l'oculaire est remplacé par un microscope qu'on peut soulever plus ou moins de quantités mesurables.

La lumière, fournie par une source étendue, est renvoyée par le système éclairant vers l'ouverture d'un diaphragme où se trouvent deux fils croisés, puis vers l'objectif du collimateur et la surface à étudier. Celle-ci est disposée sur une plate-forme pouvant être déplacée de quantités mesurables. Si la croisée des fils se trouve au foyer de l'objectif du collimateur, la lumière réfléchie par la surface observée est renvoyée vers l'objectif, puis vers le microscope; elle paraît issue du foyer de la surface à étudier. On obtient le demi-rayon de courbure avec une précision au moins égale à celle fournie par le sphéromètre, même lorsque celui-ci fournit la valeur de la flèche à un micron près, en mesurant le déplacement de la plate-forme mobile, pour les mises au point successives de la surface elle-même et de son foyer.

La mesure des éléments d'un système optique est obtenue en interposant entre le viseur et la plate-forme mobile une plate-forme fixe destinée à le supporter. On détermine ensuite avec facilité et précision les grandeurs qui interviennent dans les formules dont M. Cornu a fait usage ([1]).

A propos de la Communication de M. Dongier, M. A. CORNU fait remarquer qu'en effet on ne peut pas compter sur le sphéromètre pour mesurer avec précision un rayon de courbure. Il n'est même pas exact de dire que

([1]) *Journal de Physique*, 1re série, t. VI, p. 276, 308; 1877.

cet instrument puisse définir une flèche à un micron près, si ce n'est quand on utilise seulement de très petits déplacements de la vis. Mais on a toujours les meilleurs résultats en employant la *méthode du levier optique* de M. A. Cornu [1] applicable à la fois aux courbures des surfaces concaves et des surfaces convexes; la supériorité de cette méthode tient non seulement à la perfection automatique du levier optique, mais encore à ce que l'observation sur le petit miroir du levier se fait sur une échelle divisée qui n'a nullement besoin d'un étalonnage rigoureux; la méthode élimine les erreurs attachées à tout étalonnage absolu délicat comme celui de la vis du sphéromètre.

Dans sa méthode de mesure des éléments d'un système optique, M. A. Cornu a tenu à proscrire rigoureusement l'emploi de toute pièce ou surface auxiliaire (miroir ou lentille) dont il faut définir la valeur optique et dont l'emploi peut altérer la netteté des images.

M. Dongier répond que son appareil permet *à la fois* la mesure des courbures et des éléments des systèmes optiques aussi bien divergents que convergents. Dans le cas des systèmes convergents il ne comporte que les accessoires optiques indispensables, employés aussi par M. Cornu, à savoir : une lentille collimatrice et un microscope viseur. Il a l'avantage de porter en lui-même le moyen de régler à l'infini par autocollimation, et c'est dans cette opération qu'intervient le miroir rigoureusement plan. Sa disposition verticale et ramassée le rend très maniable et propre à rendre service même aux industriels.

M. A. Cornu ajoute que la simplicité de son dispositif ne perd guère d'avantages dans le cas, d'ailleurs très rare dans la pratique, d'un système divergent. Quant au réglage à l'infini, il peut se faire avec toute la précision voulue, sans viser un objet extrêmement éloigné et même sans viser d'autre objet que le réticule du collimateur. L'autocollimation n'est que l'un des procédés permettant d'effectuer ce réglage; elle n'exige pas, d'ailleurs, l'emploi coûteux d'un miroir parfaitement plan. La moyenne des observations, par réflexion normale sur une glace argentée ordinaire et successivement sur ses deux faces, suffit généralement pour la précision du focomètre.

SÉANCE DU 15 MARS 1901.

Présidence de M. Pellat.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 1er mars est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Chauvin (Raphaël), ingénieur électricien à Paris.
Edelberg (Alexandre), ingénieur opticien à Kharkoff (Russie).
Guillet, professeur au Collège Chaptal à Paris.
Goisot (Georges), ingénieur de la Société anonyme des anciens Établissements Parvillée frères à Paris.
Roudet, professeur au Collège de Villefranche (Aveyron).

---

(1) *Journal de Physique*, 1re série, t. IV, p. 7; 1875.

M. le PRÉSIDENT annonce la perte douloureuse que la Société vient de faire en la personne de M. *Jean-Joseph-Antoine Merle*, parfumeur, copropriétaire de la Maison Bruno-Court, à Grasse.

Durée d'émission des rayons Röntgen. — M. BRUNHES rappelle les expériences effectuées à la Faculté de Dijon et qu'il a déjà communiquées à l'Académie des Sciences (séances des 15 janvier et 9 avril 1900), et expose à la Société les expériences nouvelles qu'il a entreprises à Clermont sur le même sujet.

Les essais pour déterminer la vitesse de propagation des rayons Röntgen l'ont conduit à la recherche systématique de la durée de l'*émission* des rayons X par un tube de Crookes actionné par une bobine d'induction.

Il rappelle sa méthode de recherche de la vitesse des rayons X. Elle est fondée sur l'action des rayons sur les potentiels explosifs. Un tube de Crookes envoie des rayons, qui doivent *déterminer* l'étincelle, à deux micromètres distincts P et E, actionnés chacun par une machine électrostatique indépendante. Le micromètre P est relié aux armatures intérieures de deux bouteilles de Leyde dont les armatures extérieures, reliées entre elles par une grande résistance (liquide), sont reliées, en outre, à un micromètre secondaire S et en même temps aux deux lames de zinc qui constituent les armatures d'un condensateur de Kerr à sulfure de carbone. Le micromètre E sert uniquement à donner l'étincelle éclairante.

Si les micromètres P et E sont à côté l'un de l'autre, et si les étincelles sont simultanées, on observe la biréfringence électrique; on emploie pour cela le dispositif de MM. Abraham et Lemoine.

On peut s'arranger pour que l'étincelle de P, qui est puissante, *détermine* par sa lumière ultra-violette l'étincelle de E. On observe alors que, si, toutes choses restant égales, on éloigne l'excitateur P à $0^m,80$ de E, la biréfringence diminue. La déviation observée à l'analyseur biréfringent passe de 39° à 21°, par exemple. C'est que, lorsque la lumière arrive en E, déterminant l'étincelle éclairante, la différence de potentiel instantanée entre les armatures de zinc a déjà commencé à décroître.

On sépare par un écran de carton les deux excitateurs P et E, et l'on place un tube de Crookes au voisinage. On peut s'arranger de manière que les rayons X issus du tube *déterminent simultanément* une étincelle en P et en E. En ce cas la biréfringence observée variera suivant la distance entre P et E. Si l'on transporte le support sur lequel sont disposés à la fois le tube de Cookes et l'excitateur P à $0^m,80$ de distance de l'excitateur E, après l'avoir placé tout à côté, *il semble* qu'on ait la même diminution de biréfringence que dans le cas où c'était la lumière ultra-violette de P qui provoquait l'étincelle E.

Malheureusement l'expérience réussit trop rarement pour que l'on puisse être affirmatif. On croit, parfois, que les étincelles en P et E éclatent simultanément ; et cependant entre les nicols croisés on n'a pas d'illumination, on n'a pas le phénomène de Kerr.

M. Brunhes pense, en effet, que la synchronisation des deux étincelles indépendantes n'est réalisée que lorsque le *front de l'onde* de rayons X trouve à la fois, en arrivant sur les deux micromètres, les étincelles *préparées*, et peut ainsi les provoquer du même coup. Mais c'est là un fait exceptionnel. En variant les conditions de l'expérience on se convainc que l'émission de rayons X dure *un temps fini*, et qu'il peut y avoir ainsi synchronisation à $\frac{1}{10000}$ de seconde près environ, sans qu'il y ait la synchronisation absolue qui est nécessaire pour qu'apparaisse, dans ces conditions, la biréfringence électrique.

M. Brunhes rappelle ses précédentes expériences, où il évaluait la durée d'émission des rayons X par l'allongement sur l'écran fluorescent des

taches lumineuses données par les trous d'un disque tournant de $0^m,50$ de diamètre derrière lequel est placé le tube producteur de rayons.

Il présente à la Société des photographies sur lesquelles cet allongement est manifeste. Des trous de 5^{mm} de diamètre, parfaitement ronds sur une épreuve obtenue avec le disque au repos (toujours pour une seule émission de rayons X), donnent, quand le disque atteint une vitesse de 1600 à 2000 tours par minute, des taches allongées, étalées dans le sens du mouvement sur une longueur de 4^{mm} environ. La *vitesse absolue* du trou variant, d'après les dimensions du disque, de 40^m *à* 50^m *par seconde*, cela fait une durée d'émission de l'ordre du $\frac{1}{10000}$ au $\frac{1}{12000}$ de seconde.

M. Brunhes a voulu aller plus loin : il a mis en série un micromètre à étincelle et le tube de Crookes sur le secondaire de la bobine, pour comparer la durée de cette étincelle en série avec le tube, et celle de l'émission de rayons par le tube lui-même.

L'étincelle garde, même dans ces conditions, son caractère de phénomène instantané. Elle donne des images de trous très nets, même pour la plus grande vitesse de rotation du disque. Ces trous sont étalés dans le sens latéral, à cause des dimensions de la source de lumière, qui est un filet lumineux de 2^{cm} à 3^{cm} et qui doit être placée assez près du disque tournant. Mais il n'y a aucun allongement dans le sens du mouvement, et les photographies présentées à la Société montrent une identité absolue des images obtenues avec le disque au repos et avec le disque en mouvement.

En variant la résistance intercalée, on a obtenu quelquefois plusieurs images successives, de plus en plus pâles, pour une même étincelle, et correspondant à des oscillations. Les images étaient en ce cas nettement distinctes, et chacune d'elles correspondait à un phénomène *instantané*.

Pendant ce temps, invariablement, le tube de Crookes en série avec l'étincelle n'a cessé de donner une image unique et allongée de la même quantité.

M. Brunhes conclut que, si l'on continue à admettre dans ce cas l'uniformité du courant de décharge, on peut se représenter le phénomène en disant que l'instant précis où éclate l'étincelle est celui où les molécules gazeuses viennent frapper la cathode dans le tube de Crookes. C'est seulement ensuite que ces molécules seraient repoussées par la cathode, et ce flux de rayons cathodiques qui va s'allongeant et se traînant jusqu'à l'anticathode vient la frapper durant un temps fini.

M. P. Villard dit que les expériences de M. B. Brunhes confirment ses propres résultats relatifs à la durée de l'émission cathodique, à la condition de supposer instantané le phénomène de transformation des rayons cathodiques en rayons X à partir de l'instant du choc cathodique. La durée d'émission des rayons de Röntgen observée par M. Brunhes serait en réalité la durée de l'émission cathodique.

M. Colardeau donne quelques explications sur les expériences faites par lui en 1896, relativement à la durée d'émission des rayons de Röntgen, expériences auxquelles M. Brunhes a fait allusion dans sa communication.

D'après ces expériences, la durée d'émission des rayons X serait assez considérable et comparable à un millième de seconde. (M. Brunhes trouve, par le dispositif qu'il décrit, un nombre de l'ordre de un dix-millième de seconde.)

M. Colardeau, qui a depuis cette époque complété ses recherches, mais qui n'en avait pas, jusqu'ici, publié les résultats, explique qu'on obtient des effets très différents suivant la manière dont est disposé le circuit de décharge de la bobine.

Si l'on relie directement, comme on le fait d'habitude, le tube de Crookes

aux deux pôles de la bobine, il arrive généralement que ce tube est traversé par plusieurs décharges consécutives, même quand on produit une seule interruption du courant primaire. Cela s'explique facilement, comme l'a montré M. Abraham, par ce fait que la quantité d'électricité mise en jeu dans le secondaire par cette seule interruption suffit à porter plusieurs fois de suite les deux pôles de la bobine à la différence de potentiel voulue pour produire une étincelle entre ces pôles. La décharge se répète alors un certain nombre de fois jusqu'à ce que la charge électrique mise en jeu soit entièrement dépensée. C'est l'ensemble de ces décharges, et non chacune d'elles envisagée à part, qui correspond aux valeurs numériques citées plus haut. Comme ces décharges sont suffisamment rapprochées pour que l'œil et l'oreille n'en perçoivent pas la discontinuité, la durée d'émission des rayons X est alors comparable à celle de l'ensemble de ces décharges.

M. Colardeau a mis en évidence cette discontinuité dans la production des rayons X due à une seule interruption du courant primaire, en dirigeant ces rayons sur une plaque photographique tournant rapidement autour d'un axe perpendiculaire à son plan. Une fente étroite, découpée dans une plaque de métal immobile et placée très près de la plaque photographique, limite le faisceau de rayons X. Dans ces conditions, au lieu d'obtenir une seule image de la fente, on en obtient une série, étalées en éventail sur un secteur de plusieurs degrés d'ouverture, dont l'étendue varie d'ailleurs d'une expérience à l'autre. Ces images ne sont pas toutes absolument séparées les unes des autres: l'ensemble donne l'impression qui correspondrait à une décharge fusante présentant de nombreuses alternatives de renforcement et d'affaiblissement. L'aspect de l'image rappelle celui d'un spectre, tel que le spectre solaire, qu'on supposerait étalé suivant un secteur de cercle.

On évite cette complication dans les résultats en intercalant dans le circuit de décharge un petit intervalle d'air permettant la production d'une étincelle et en mettant en dérivation, sur les bornes du secondaire de la bobine, un condensateur dont la capacité est réglée de telle manière que la quantité d'électricité mise en jeu par une interruption du courant primaire soit suffisante pour porter une seule fois les armatures à la différence de potentiel voulue pour produire une décharge. Dans ces conditions le phénomène se simplifie : la plaque photographique tournante enregistre une seule image de la fente. Mais cette image est aussi nette que celle que donne la plaque photographique au repos et ne paraît nullement allongée dans le sens du mouvement. Avec le dispositif adopté par l'auteur, une durée voisine de $\frac{1}{50000}$ de seconde aurait produit un élargissement très notable de la fente.

Il résulterait donc de là que la durée véritable d'émission des rayons Röntgen par une seule décharge serait au-dessous de cette limite.

En réponse aux observations de M. Villard et de M. Colardeau, M. Brunhes fait observer qu'il a eu des *vitesses absolues* notablement supérieures à celles qu'a réalisées M. Colardeau. Si les très intéressantes expériences de celui-ci, inédites jusqu'à ce jour, semblent favorables à l'hypothèse d'un flux de rayons X constitué par une série discontinue d'émissions successives coïncidant avec les oscillations de l'étincelle, M. Brunhes maintient que, *dans les conditions où il a opéré,* il y a une différence d'allure manifeste entre l'émission de rayons X et l'étincelle, qui est en série avec le tube de Crookes, la première durant $\frac{1}{10000}$ de seconde, tandis que l'étincelle est unique et instantanée : ses photographies ne peuvent laisser sur ce point aucun doute. Il serait très intéressant, d'ailleurs, de préciser les circonstances dans lesquelles on retrouve les résultats de M. Colardeau.

Sur quelques réfractomètres nouveaux de la maison Zeiss, à Iéna. — M. CULMANN fait circuler parmi les Membres de la Société un petit appareil imaginé par M. Abbe, il y a une vingtaine d'années, pour montrer qu'une source lumineuse émet plus de lumière quand elle est placée dans le verre que lorsqu'elle est entourée d'un milieu à indice moins élevé, comme l'air. Cet appareil comporte deux plaques de porcelaine séparées, d'une part par un bloc de verre collé sur l'une des plaques, d'autre part par une couche d'air ayant les mêmes dimensions que le bloc. Vue par transparence, la partie de la porcelaine derrière laquelle se trouve le verre est plus claire que l'autre.

M. Culmann présente ensuite à la Société quatre réfractomètres à liquides construits par la maison Zeiss :

1° Un nouveau modèle du réfractomètre d'Abbe. Ce modèle est pourvu d'un dispositif permettant de chauffer les prismes et de déterminer la température du liquide étudié. Comme l'ancien modèle il permet l'emploi de la lumière blanche. Il est à lecture directe et donne les indices à environ 2 unités du quatrième chiffre décimal près. Son échelle va de 1,3 à 1,7.

2° Réfractomètre à immersion. Un des prismes du réfractomètre Abbe est supprimé, l'autre est fixé à demeure sur le viseur. L'échelle est placée dans l'oculaire ; elle se déplace par une vis, ce qui permet d'estimer très sûrement les dixièmes. Le prisme étant immergé dans le liquide à étudier, il n'y a qu'à lire sur l'échelle la position du rayon limite pour obtenir l'indice à l'aide d'une table. La limite entres les plages claire et sombre est très nette, parce que les franges d'interférence qui se produisent entre les deux prismes du réfractomètre d'Abbe sont entièrement supprimées. On peut par conséquent employer un grossissement considérable et atteindre une précision assez élevée, 1/2 unité du quatrième chiffre décimal environ. L'échelle est très restreinte ; elle va de 1,325 à 1,367 ; l'instrument est destiné aux liquides dont l'indice est voisin de celui de l'eau.

3° Réfractomètre de démonstration. C'est un réfractomètre d'Abbe construit en vue des manipulations de physique. Il permet la détermination de l'angle et de l'indice du prisme. Il peut s'employer aussi pour déterminer les indices par la méthode de la réflexion totale. Comme l'instrument suivant, il exige l'emploi de la lumière homogène.

4° Réfractomètre à angle variable pour les liquides à indice élevé et ceux qui pourraient attaquer les verres du réfractomètre d'Abbe. Le liquide à examiner est limité de manière à former un prisme à angle variable. L'une des faces du prisme est fixe ; elle est constituée par le fond du vase dans lequel se trouve le liquide ; l'autre face est mobile, elle est formée par la base d'un cylindre en verre très dur fixé sur le viseur. Quand la croisée des fils est amenée sur la limite des plages claire et obscure, le rayon limite pénètre dans le liquide sous l'incidence rasante et en sort normalement. L'indice du liquide est égal à la cosécante de l'angle du prisme. La précision de cet instrument est moins grande que celle du réfractomètre d'Abbe, mais en revanche son échelle est plus étendue.

Expériences d'interférences secondaires dans les lames cristallines, par M. DAMIEN. — L'appareil de M. Damien, présenté par M. SAGNAC, a été construit par M. Pellin, qui le fait fonctionner devant la Société. Il comprend essentiellement deux cuvettes creuses de Biot superposées Q_1, Q_2 (quartz parallèle à l'axe) qu'on éclaire par transmission entre un polariseur et un analyseur croisés et dont on forme l'image sur l'écran de projection. On peut faire tourner l'un des deux quartz Q_1 dans le plan de

sa base de manière que sa section principale fasse un angle, variable à volonté, avec celle du quartz Q_2 laissé fixe. On peut, d'autre part, faire glisser Q_1 dans le plan de sa base de manière que le centre C_1 de cette cuvette s'écarte à une distance variable d à partir du centre C_2 de la cuvette Q_2. Les deux quartz sont creusés de manière à présenter en leur centre une épaisseur assez faible pour que chacun d'eux placé entre l'analyseur et le polariseur à l'extinction fasse apparaître sur l'écran les anneaux bien connus de Biot avec la tache noire au centre.

Les anneaux étant ainsi produits par le quartz fixe Q_2, dont la section principale est à 45° de celles du polariseur et de l'analyseur, on superpose le quartz Q_1 au quartz Q_2 avec sa section principale perpendiculaire à celle de Q_2. L'extinction est rétablie (dans tout le champ, uniformément, si les deux cuvettes sont bien identiques). En écartant alors les centres C_1 et C_2 des deux quartz Q_1 et Q_2, on voit la lumière reparaître au bord du champ. Le milieu du champ présente une bande d'interférence noire qui, d'abord extrêmement large, se rétrécit progressivement pendant que des deux bords du champ s'avancent des franges colorées rectilignes de plus en plus nombreuses et serrées. La forme de chacune de ces franges secondaires est, en effet, définie, comme celle des franges du compensateur de Babinet, par le lieu du point m de l'écran tel qu'au point M correspondant sur les deux quartz, la différence des épaisseurs e_1 et e_2 de ces quartz soit constante; ces épaisseurs sont proportionnelles, pour des cuvettes de même rayon de courbure, aux carrés des distances ρ_1 et ρ_2 du point M aux centres C_1 et C_2, et l'on sait que l'équation $\rho_1^2 - \rho_2^2 = \text{const.}$ définit une famille de droites perpendiculaires à la droite $C_1 C_2$; la frange centrale noire passe par le milieu de $C_1 C_2$.

Cette première expérience permet de produire des franges susceptibles de rendre les mêmes services que celles du compensateur de Babinet, mais avec l'avantage de pouvoir, en faisant varier la distance d des centres des deux cuvettes, obtenir des *franges dont l'intervalle varie dans de très larges limites et d'une manière continue*, comme si l'on substituait rapidement au compensateur de Babinet toute une série de compensateurs tels que l'angle aigu de leurs prismes prenne une série de valeurs graduellement variables à partir de zéro.

Si l'on ramène les centres en coïncidence et qu'on tourne le quartz mobile Q_1 d'un angle α quelconque, la lumière reparaît; pour $\alpha = 45°$, on revoit sur l'écran le système d'anneaux que fournissait le quartz fixe Q_2 avant l'introduction de Q_1; pour $\alpha = 90°$, les axes des deux quartz étant parallèles, on voit un système d'anneaux deux fois plus nombreux dans le même espace. Si alors on écarte les centres C_1 et C_2 des deux quartz, on voit apparaître un nouveau système de franges secondaires qui sont circulaires et forment des anneaux d'ordre supérieur ayant leur centre commun au milieu de $C_1 C_2$. Comme les effets des épaisseurs e_1 et e_2 des deux quartz s'ajoutent maintenant, la forme de ces franges secondaires est, en effet, définie par l'équation $\rho_1^2 + \rho_2^2 = \text{const.}$ Ces anneaux, d'ordre supérieur, en chaque point m, à l'ordre des anneaux primaires que fournirait au même point m chacun des quartz, peuvent disparaître en lumière blanche si la valeur de la distance d des centres des deux cuvettes est suffisante, tandis que les franges rectilignes à frange centrale noire étaient toujours visibles, même quand chacune des deux cuvettes ne projetait plus aux mêmes points de l'écran d'anneaux primaires d'ordre assez inférieur pour être visibles en lumière blanche. Pour une valeur de α suffisamment distincte de 0° ou d'un multiple entier de 45°, les quatre systèmes de franges colorées sont visibles simultanément, ou plutôt fournissent des combinaisons graduellement variées qui donnent à la projection un aspect très brillant et très démonstratif.

On a, toujours en lumière parallèle, des phénomènes d'interférences

secondaires qui sont aux précédents ce que la biréfringence circulaire est à la biréfringence rectiligne, si l'on remplace les deux cuvettes de quartz parallèles à l'axe par deux cuvettes de quartz perpendiculaires à l'axe. Quand les centres des deux cuvettes sont distincts, on voit des *anneaux* d'interférences secondaires si les quartz sont de même signe. On voit, avec des quartz de signes contraires, des *franges* analogues à celles des prismes de Sénarmont; ici encore le nouveau dispositif a l'avantage de fournir des franges dont la distance est variable à volonté d'une manière continue.

SÉANCE ANNUELLE.

VENDREDI 12 ET SAMEDI 13 AVRIL 1901,

à 8 heures du soir.

EXPOSITION.

Éclairage de la porte d'entrée et du vestibule avec des becs à incandescence.

Éclairage de l'escalier, par.................................. **La Cie Française de l'acétylène dissous.**

Éclairage de la salle du Conseil, par l'économiseur électrique.. MM. **Weissmann et Wydts.**

Éclairage de la salle d'entrée par la Société d'éclairage, de chauffage et de force motrice par l'alcool................ M. **Denayrouse.**

Microhmètre à lecture directe. — Voltmètre portatif étalon à plusieurs sensibilités. — Electromètres apériodiques 1000, 3000 et 5000 volts. — Voltmètres et ampèremètres thermiques à cadran et enregistreurs. — Appareils de mesures divers.. MM. **Arnoux et Chauvin.**

Plaques d'accumulateurs Planté à grande surface.......... MM. **d'Arsonval et Vaugeois.**

Instruments auxiliaires de l'examen radioscopique et de la radiographie simple ou stéréoscopique : spintermètres, supports d'ampoule, diaphragme-iris propre à la détermination du point d'incidence normale. — Table............ M. **Beclère.**

Nouvelle trompe à mercure.............................. MM. **Berlemont et Jouard.**

Mouvements tourbillonnaires permanents dans les liquides propageant de la chaleur par convection................ M. **Bénard.**

Transformateurs électriques à courant continu. — Série de moteurs électriques, galvanomètres et récepteurs......... M. **J. Blondeau.**

Nouveaux lumenmètres à diffusion.......................... M. **A. Blondel.**

Grand cylindre enregistreur à vitesse variable depuis 1 tour à la seconde jusqu'à 1 tour en 15 minutes (construit par M. **Ph. Pellin**).. M. **A. Broca.**

Expériences sur les spectres d'absorption des indophénols... M. **C. Camichel.**

Rhéostats divers, système **Cance**, types 1900................ MM. **Cance et fils.**

Appareils divers.. M. **J. Carpentier.**

Transformateur de 1500 watts pour courant alternatif avec prises de courant donnant 20, 30, 40, 60, 80, 110 et 150 volts. — Interrupteur à mercure de M. **Villard** pour courant alternatif, à excitation séparée, avec réglage de la phase, applicable soit aux bobines de Ruhmkorff, soit à la charge des accumulateurs par le courant alternatif. — Oculaire stéréoscopique synchrone de M. **Villard**, pour la radioscopie stéréoscopique. — Arcs au mercure de MM. **Perot** et **Fabry** modifiés. — Tubes de Crookes (modèles **Chabaud**). — Interrupteur rapide à courant continu pour la radioscopie, la radiographie, la télégraphie sans fil (modèle de M. **Villard**). — Soupapes électriques de M. **Villard**. — Electroscope de M. **Hurmuzescu** (nouveau modèle). — Isolement à la diélectrine.................. M. **Chabaud.**

Loupe d'étude à oculaire divergent aplanétique et à deux grossissements. — Deux jumelles système de Galilée à oculaires divergents aplanétiques. — Système de viseur à micromètre établi sous trois formes différentes : viseur se plaçant sur un oculaire de lunette ou de loupe; viseur faisant corps avec un oculaire de lunette de Galilée; viseur placé par delà l'objectif d'une lunette et donnant l'autoréduction dans la mesure des distances. — Spécimens de verres entrant dans la composition des appareils précédents........... .... M. **A. Champigny.**

Balance spéciale pour l'étalonnage des poids. — Balance disposée pour exécuter une pesée sans ouvrir la cage. — Poids étalons en bronze blanc.......................... M. **A. Collot.**

Tableau de charge pour voitures automobiles. — Rhéostats divers. — Appareillage pour 440 volts.................... **Cie Française d'appareillage électrique**; *anciens Etablissements* **Grivolas, Sage et Grillet.**

Rampes des différents modèles de becs d'éclairage au gaz employés jusqu'à ce jour; prêtées par la................ **Cie Parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz.**

Glaces platinées. — Lentilles de Fresnel, prismes circulaires pour phares. — Bacs d'accumulateurs. — Opaline laminée ou moulée pour tableaux de distribution et socles d'appareils électriques. — Tableau de distribution sur opaline. — Isolateurs de tous genres pour appareils électriques, ozoneurs, etc.. **Cie de Saint-Gobain, Chauny et Cirey.**

Appareil de mensuration exacte du squelette et des organes donnant une image nette en radiographie................ **M. G. Contremoulins.**

Réseaux obtenus, sans machine à diviser, par la photographie de franges d'interférence. Expériences avec l'arc au mercure à tube de quartz fondu de M. **Dufour**.............. **M A. Cotton.**

Régulateurs automatiques pour courants alternatifs et pour courants continus. — Moteurs pour commande desdits régulateurs. — Lampes à arc pour courants alternatifs et accessoires.. **M. H. Cuénod.**

Réfractomètres nouveaux de la maison **Zeiss** à Iéna........ **M. P. Culmann.**

Expériences sur les franges secondaires d'interférences dans les lames cristallines (exécutées par M. **Pellin**).......... **M. Damien.**

Grande balance à chaîne; la colonne porte la division, et le mécanisme d'arrêt du fléau sert aussi à amortir les oscillations des plateaux; elle est sensible au 1/2 milligramme chargée à 300 grammes. — Horizon gyroscopique entretenu électriquement................................ **M. A. Démichel.**

Oscillographes monofilaires et bifilaires. — Lumenmètres **Blondel**.. **M. G. Dobkevitch.**

Appareil de mesure des courbures et des éléments d'un système optique quelconque................................ **M. R. Dongier.**

Wattmètre industriel de MM. **Blondel** et **Labour**. — Téléphone haut parleur de M. le lieutenant de vaisseau **R. Gaillard**. — Appareils de télégraphie sans fil adoptés pour les grandes distances, types **Popoff-Ducretet**; transmetteur

et récepteur. — Récepteur radiotéléphonique **Popoff-Ducretet** pour les grandes distances; télégraphie sans fil. — Résonateur du Dr **Oudin**; nouveau dispositif bipolaire très puissant, de M. **Lebailly**. — Appareil de M. **E. Ducretet** pour l'essai rapide, comparatif, des isolants liquides, pâteux et solides (isolants fusibles.)........................ **M. E. Ducretet.**

Jumelles à prismes.. **M. G. Fournier.**

Lignes superficielles apparaissant dans le sciage des métaux. **M. Ch. Frémont.**

Interrupteur rapide **Contremoulins-Gaiffe**, sans mercure, faisant fonctionner des bobines du Ruhmkorff de toutes dimensions et permettant de régler l'étincelle de ces dernières depuis 1mm jusqu'au maximum. — Appareil électrique de mesure. — Souffleur rotatif pour condensateur de haute fréquence. — Machine statique. — Moteurs électriques. — Appareil construit sur les indications de MM. **G. Claude** et **L. Bombe de Villiers**, Ingénieurs de la Cie Thomson-Houston, pour la localisation des défauts d'isolement dans les systèmes de traction électrique à caniveaux souterrains. Massage pneumatique, procédé de M. le Dr **Breuillard**. — Pompe à vide de M. le Dr **Breuillard**... **MM. G. Gaiffe et Cie.**

Spectroscope de laboratoire à dispersion et à échelle réglables, avec chambre photographique pouvant se substituer à la lunette pour la transformer en spectrographe également réglable (Construit par M. **Ph. Pellin**)................ **M. de Gramont.**

Poste cinématographique complet en service avec quelques vues cinématographiques appliquées aux sciences et à l'industrie. — Divers appareils photographiques et cinématographiques.. **MM. L. Gaumont et Cie.**

Nouveau modèle d'électro-aimant à longue course avec effort constant 21kg, 15cm de course; 75kg, 20cm de course; 130kg, 25cm de course.. **MM. A. Guenée et Cie.**

Lampes électriques en vase clos (Système Froment)........ **M. A. Guinard.**

Bain de mercure à couche épaisse amortissant les trépidations du sol.. **M. M. Hamy.**

Diocinescope. — Jumelles à prismes. — Sextant-télémètre... **M. L. Huet.**

Nouvel électroscope condensateur........................ **M. Hurmuzescu.**

Appareillage et tableaux pour éclairage à basse et haute tension et pour traction. — Petits moteurs électriques à courant continu et alternatif. — Petites dynamos et transformateurs pour laboratoires et cabinets médicaux. — Ventilateurs électriques à courant continu et alternatif... **M. Illyne Berline.**

Série d'ampèremètres et de voltmètres. — Série de disjoncteurs à minima et à maxima. — Série de commutateurs rotatifs. — Série de commutateurs uni et bipolaires. — Série de réducteurs de charge. — Série des interrupteurs sous boîte. — Série d'interrupteurs à couteaux uni et bipolaires. — Compteur **Blathy**, modèle réduit. — Compteur **Blathy** triphasé. — Compteur **Japy** pour courant continu........ MM. **Japy frères**.

Appareils divers.. M. **Jobin**.

Télétaugraphe, appareil écrivant à distance, système **Elisa Gray-Ritchie**.. M. **D. Korda**.

Héliorama (construit par MM. **Benoist** et **Berthiot**)........ M. **Lafont**.

Diapasons entretenus électriquement. — Sirène Bourbouze.. M. **J. Lancelot**.

Matériel de radiographie, installation complète pour médecins. — Appareil de télégraphie sans fil muni de radioconducteur **Branly** à limaille d'or. — Appareil de télégraphie sans fil, modèle ayant fonctionné dans les expériences faites au mont Blanc. — Bobine d'induction à haute tension, grand modèle, avec un interrupteur en dérivation. — Radiographies diverses obtenues avec nos appareils (hôpital Saint-François, service du Dr **Arnoult**). — Pendules coniques suspendus à la Cardan, destinés à l'étude graphique des mouvements pendulaires. — Appareil enregistreur de la vitesse dans les mouvements pendulaires. — Courbes pendulaires obtenues avec les pendules ci-dessus............ MM. **Lecarme frères et Michel**.

Clichés photographiques de décharges électriques.......... M. **S. Leduc**.

Spectres d'absorption de quelques groupes de matières colorantes.. M. **P. Lemoult**.

Etuve à culture chauffée à l'électricité. — Grille à température constante de M. **A. Gautier**. — Nouveau petit four à gaz de M. **Bruno**, de l'Institut agronomique. Four électrique à tube. — Centrifugeur électrique................ M. **P. Lequeux**.

Nouvel analyseur à pénombre (construit par M. **Jobin**). — Appareil pour la production des franges de Herschell (construit par M. **Meinardi**)............................ M. **Macé de Lépinay**.

Lampe inversable à allumage électrique.................... M. **Marquer**.

Tableau pour analyses électrolytiques multiples en collaboration avec MM. **C. Poulenc** et **G. Gaiffe**. — Four électrique d'essais (MM. **Meslans** et **C. Poulenc**). — Appareil d'électrolyse pour la préparation du fluor (MM. **Meslans** et **C. Poulenc**).. M. **Meslans**.

Polarimètre ayant servi à M. **Pellat** pour déterminer : 1° la prise d'essai de sucre; 2° la variation du pouvoir rotatoire avec la température; 3° la variation du pouvoir rotatoire avec la longueur d'onde (construit par M. **Jobin**)........ M. **H. Pellat**.

1° Microscope spécialement disposé pour l'étude des corps opaques et particulièrement des échantillons métalliques, dans lequel la disposition particulière de l'éclairage permet l'observation avec les plus forts grossissements. — 2° Nouveau microscope à grand champ et à images redressées. Application aux microscopes destinés à la dissection avec forts grossissements. — 3° Microscope spécialement disposé pour la microphotographie des préparations ordinaires ou de minéraux en lames minces........................ MM. **Nachet et fils.**

Appareil de M. **Cotton** pour la mesure de l'intensité des champs magnétiques. — Lucimètre du Dr **Bordier**. — Glycosimètre de MM. **Yvon** et **Pellin**. — Spectroscope de M. **Yvon**. — Spectrogoniomètre à un prisme. — Spectroscopes à prismes de spath. — Appareil d'interférences de M. **Mascart**. — Microscope de M. **Le Chatelier**. — Galvanomètre d'usine de M. **Le Chatelier**. — Lunette de MM. **Coupeau** et **Le Chatelier** pour la mesure de la dilatation par les déviations d'un miroir en silice. — Réfractomètre de M. **Ch. Féry**. — Grand prisme à vision directe. — Grand colorimètre. — Héliographe à latitude variable — Collection stéréoscopique du campylographe du R. P. **Dechevrens**. — Hématospectroscopes du Dr **Hénocque** (expériences). — Franges secondaires d'interférences de M. **Damien**. — Projection des tableaux des ondes aériennes de M. **Wood**. — Projection de lames de roches, appareil de M. **Munier-Chalmas**. — Projection des spectres métalliques et divers. — Projection de clichés de M. **Stanoïewitch**, représentant les lignes de force et les surfaces équipotentielles dans la nature. — Stéréoscope du Dr **Parinaud**. — Stéréoscope de M. **Cazes**........................ M. **Ph. Pellin** (Successeur de M. J. Duboscq).

Electrolyseur nouveau modèle........................ M. **E. Peyrusson.**

Microscope de projection pour l'enseignement et lanterne triple pour la projection de photographies polychromes. — Expériences avec les nouvelles spirales de haute tension de M. le Dr **Guilleminot**, pour l'étude de la résonance et les applications médicales. — Transformateur d'induction **Radiguet** et **Massiot** à combinaisons multiples, inducteur, induit, longueur et nature de l'étincelle, variables. Cet appareil fonctionne comme bobine bipolaire (systématique et dissymétrique) et unipolaire; il donne son maximum de la longueur d'étincelle (50^{cm}), soit avec les trembleurs mécaniques, soit avec les trembleurs électrolytiques (**Wehnelt**). — Application : Etudes des diverses formes de l'étincelle d'induction. — Télégraphie sans fil. — Radiographie et endodiascopie. — Lanterne de M. le Dr **Bouchacourt** pour l'examen radioscopique, le tube monopolaire tenu à la main........................ MM. **Radiguet** et **Massiot.**

Photographies d'ondes aériennes, de M. **Wood**............ M. **Raveau.**

Meuble bibliographique contenant les articles du *Mois scientifique et industriel* découpés et collés sur fiches......... M. **P. Renaud.**

Baromètre de gravité à deux marches et pouvant donner jusqu'à 20^{mm} par mètre. — Chronographe de précision à changement de vitesse donnant le 1/1000 de seconde. —

Sunshine ou héliographe (nouveau modèle). — Girouette à transmission mécanique à papier sans fin. — Enregistreur de la direction et de la vitesse du vent à longue marche, papier sans fin. — Appareils enregistreurs (baromètre, thermomètre, hygromètre) indicateurs et enregistreurs sur place et à distance par transmission mécanique et électrique à servo-moteur. — Statoscope pour ballons. — Baromètre, thermomètre, hygromètre enregistreur en aluminium, construit pour les explorations de la haute atmosphère, suivant indications de M. **Teisserenc de Bort**. — Régulateur automoteur de température. — Nouveau modèle d'enregistreur de flèches de pont construit d'après indications de M. **Rabut**. — Manomètre différentiel pour bateaux sous-marins. — Nouveau voltmètre thermique enregistreur, à cadran. — Wattmètre pour courant triphasé. — Indicateur de sens de puissance pour courants alternatifs. — Indicateur de couplage. — Perfectionnements apportés au vérascope. — Le *Taxiphote*, nouveau stéréoscope, classeur distributeur automatique................ M. J. **Richard**.

Machine électrostatique à 6 plateaux. — Résonateur **Oudin**. — Excitateur du Dr **Bergonié**........................ M. **Roycourt**. (Successeur de M. Donetti).

Appareils de mesures électriques...... .. .. MM. **Ch. Rousselle** et **Ch. Tournaire**.

Quelques expériences d'interférence .... M. G. **Sagnac**.

Electroscope et électromètre de M. **Curie**, pour l'étude des corps radio-actifs. — Substances radio-actives : radium, polonium, et divers objets s'y rattachant. — Nouveaux appareils électriques de démonstration de MM. **Paquier** et **Boulay**.. **Société centrale des produits chimiques.**

Calorifères à résistance métallo-céramiques. — Rhéostats à faible et à grand débits. — Appareils divers à chauffage électrique, fer à souder, bain de sable, etc.............. **Société Anonyme** des *anciens Etablissements* **Parvillée frères** et Cie.

Microtome grand modèle de M. le Dr **Radais**. — Microscope nouveau modèle.................. .... M. **M. Stiassnie**.

Nouvelle fontaine lumineuse d'appartement et monumentale imitant un bouquet d'artifices continu. — Carburateur sans aucun organe mécanique, à niveau absolument constant, d'un fonctionnement irréprochable, pour tricycles, voiturettes et voitures automobiles. — Appareil électrophotothérapique... M. G. **Trouvé**.

Expériences sur les rayons cathodiques................... M. P. **Villard**.

Nouveau cercle à calcul. — Nouveau système de voltmètres et d'ampèremètres rendus indépendants, par compensation, des variations accidentelles de leur aimant permanent (construits par MM. **Japy frères**)....................... M. P. **Weiss**.

COMMUNICATIONS.

RÉUNIONS DES 12 ET 13 AVRIL 1901 (¹).

Sur un nouveau système de voltmètres et d'ampèremètres rendus indépendants, par compensation, des variations accidentelles de leur aimant permanent; par M. Pierre Weiss.

M. P. Weiss, après avoir rappelé que la principale cause d'incertitude dans les instruments de mesure pour les courants continus réside dans les variations accidentelles de l'intensité d'aimantation des aimants permanents, montre que l'erreur est de signe différent suivant le rôle attribué à ces aimants. Quand l'aimant fournit la force déviante, comme dans les galvanomètres à courant mobile, la sensibilité diminue avec l'affaiblissement de l'aimant. Quand il fournit la force antagoniste, comme dans les instruments magnétostatiques, elle augmente au contraire.

On peut corriger ces deux erreurs, l'une par l'autre, en demandant la force déviante et la force antagoniste au même aimant. Pour cela il suffit de fixer invariablement sur l'équipage d'un galvanomètre Desprez-d'Arsonval une pièce de fer qui, tendant à rester orientée dans le sens du champ, donne un couple résistant. Ce couple d'origine magnétique sera prépondérant par rapport au couple élastique si les conducteurs amenant le courant sont suffisamment souples.

L'étude quantitative du problème montre que l'on arrive à une constance parfaite de la sensibilité en donnant au rapport entre le couple élastique et le couple magnétique une valeur qui dépend du degré de saturation magnétique de la pièce de fer attachée à l'équipage. Et, comme le montrent les nombres ci-dessous, provenant d'un instrument construit par MM. Japy frères et Cie, cette propriété persiste quelle que soit la grandeur de la déviation.

Courant produisant une déviation de α°, le champ étant H.

α°	H = 500 gauss	H = 600 gauss
10°	— 48,4	— 47,6
0°	0	0
10°	37,1	37,3
20°	67,6	67,7
30°	94,2	94,2
40°	119,4	119,2
50°	145,6	145,6
60°	173,2	173,0
70°	199,5	199,2

(¹) A l'occasion de l'Exposition annuelle, ces réunions ont eu lieu dans l'Amphithéâtre de Physique de la Sorbonne.

Un affaiblissement du champ de 17 pour 100, absolument invraisemblable quand on prend les précautions habituelles pour s'assurer un aimant de bonne qualité, ne produit donc aucune erreur appréciable. Les faibles divergences dans le tableau ci-dessus sont en effet voisines des erreurs de lecture et sans aucun caractère systématique.

M. Weiss montre en outre comment il se fait que les instruments de ce système compensé soient indépendants des variations de la température.

Ce système se prête aussi tout particulièrement à la construction d'instruments par séries, possédant des graduations identiques, pour lesquels on peut employer des cadrans imprimés, et dispense ainsi de l'opération toujours un peu chanceuse de la graduation individuelle.

Sur une nouvelle méthode permettant de caractériser les matières colorantes et d'étudier les relations de la couleur des corps avec leur constitution chimique, par M. C. Camichel.

I. La couleur par transmission n'est une donnée physique ayant un sens précis que si l'on a soin de préciser les conditions expérimentales : c'est-à-dire : 1° l'*épaisseur* du corps; 2° la *nature* de la *lumière* qui l'éclaire; pour l'étude des dissolutions, il est nécessaire d'ajouter une troisième donnée : la *concentration.*

Les bandes d'absorption définies par leurs extrémités apparentes ont une position qui dépend, comme la couleur, des trois conditions précédentes.

On montre en projection l'influence de l'épaisseur en formant le spectre d'absorption d'une dissolution aqueuse de vert malachite : quand l'épaisseur traversée par les rayons lumineux augmente, on observe une bande noire dans l'orangé qui s'élargit; son extrémité du côté du rouge reste sensiblement immobile, tandis que l'autre se déplace beaucoup.

Des considérations très simples expliquent ce phénomène : quand l'épaisseur ou la concentration augmente, une bande brillante se déplace vers les radiations pour lesquelles le milieu est plus transparent, une bande sombre se déplace en sens inverse.

On montre l'influence de la nature de la lumière au moyen d'un verre rouge qui porte, sur l'une de ses moitiés, un verre vert. Cette lame est fixée contre la fente dont l'image, dispersée par un prisme, forme un spectre. On voit deux bandes rouges; celle qui provient des radiations qui ont traversé les deux verres est nettement déplacée vers l'extrémité violette du spectre, résultat facile à prévoir.

Les considérations précédentes expliquent les nombreuses contradictions que l'on trouve relativement aux positions des bandes d'absorption définies par leurs extrémités apparentes.

II. Au lieu d'employer la méthode précédente, on caractérise une bande d'absorption par le point correspondant au *maximum* ou au *minimum de transparence*, suivant que la bande est brillante ou sombre.

Ce point est invariable, il ne dépend pas de l'épaisseur du corps, ni de la lumière qui éclaire le spectroscope. Pour une dissolution, il est indépendant de la concentration, si le corps suit la loi de Beer (proportionnalité du coefficient d'absorption et de la concentration), loi très générale.

Pour déterminer les maxima et minima de transparence, on emploie la méthode du diamètre rectiligne : on construit une courbe ayant comme abscisses les longueurs d'onde et comme ordonnées les coefficients d'absorption, on coupe cette courbe par une série de cordes parallèles à l'axe des abscisses. Le diamètre conjugué de ces cordes obtenu en joignant leurs milieux coupe très nettement la courbe au point cherché.

III. Cette méthode appliquée aux indophénols conduit aux résultats suivants :

a. Les dissolutions d'indophénols dans l'alcool, l'éther, etc., ne suivent pas la loi de Kundt.

b. Quand un azote tertiaire est remplacé par un azote primaire, le minimum de transparence se déplace vers l'extrémité la plus réfrangible du spectre, quel que soit le dissolvant.

c. Une substitution en ortho dans le phénol dont dérive l'indophénol produit un déplacement considérable du minimum de transparence, quel que soit le dissolvant.

d. Une substitution en méta dans le phénol dont dérive l'indophénol produit un déplacement très faible du minimum de transparence vers le rouge ou vers le bleu ; ce déplacement est souvent nul, il diffère peu des erreurs expérimentales. Cette conclusion subsiste quel que soit le dissolvant.

La méthode du diamètre rectiligne permet de caractériser avec précision les matières colorantes dont le coefficient d'absorption suit la loi de Beer. Elle permet de déterminer la formule des phénols.

Télautographe Elisha Gray-Ritchie, par M. D. Korda.

Elisha Gray, l'illustre inventeur du microphone, le savant américain mort il y a quelques semaines à peine, s'est attaqué depuis longtemps à la solution du problème de la transmission de l'écriture à distance. Malheureusement, le résultat très encourageant qu'il a obtenu le fut au détriment de la simplicité et par conséquent de la possibilité d'une application vraiment pratique. Sans parler de la construction compliquée, délicate et coûteuse de son appareil, du réglage très difficile à cause de tous les organes mécaniques qu'il contenait : moteur, mouvement d'horlogerie, embrayage, etc., le *télautographe* primitif de M. Gray était entaché d'un grave inconvénient pratique : c'est de nécessiter quatre fils entre les postes en communication.

M. Macpherson, un des élèves de M. Gray, a réussi à éliminer cet inconvénient très important et à ramener le nombre de fils nécessaires à deux, mais sans pouvoir se passer des organes délicats, des bobines et contacts sans nombre.

C'est à un autre élève de M. Gray, à un électricien anglais, M. Ritchie, que fut réservé le mérite d'avoir pu simplifier et mettre au point l'invention du Maître et l'appareil présenté est le résultat de ses recherches. Dans cet appareil, plus de mouvement d'horlogerie, plus de complications mécaniques. Un nombre très restreint d'électro-aimants et les deux fils qui réunissent les deux postes en correspondance suffisent, grâce à un artifice ingénieux, à transmettre toutes les manœuvres de l'appareil.

L'appareil se compose, comme tout appareil de transmission, de deux parties distinctes : le transmetteur et le récepteur.

Nous ne parlons pas du téléphone, que l'on peut y adjoindre avec la plus grande facilité, de façon à obtenir ainsi un appareil complet permettant la transmission de la parole et de l'écriture.

Comme le double fonctionnement ne peut pas se faire simultanément, on a prévu un commutateur actionné automatiquement par le poids de l'appareil téléphonique.

Le même conducteur à bouton met en même temps l'un ou l'autre pôle de la batterie locale à la terre, suivant que c'est le transmetteur ou le récepteur qui se trouve en circuit.

L'appareil étant à l'état de repos, le bouton du commutateur est maintenu abaissé par le levier placé à côté de lui, le pôle (—) de la batterie

est à la terre et le récepteur en circuit sur le fil de ligne, de sorte que l'appareil est prêt à enregistrer les messages sans qu'il y ait aucune manœuvre à faire. Lorsque l'opérateur pousse le levier avec son crayon, le commutateur devient libre, se soulève, met le pôle (+) de la batterie à la terre et le transmetteur en circuit à la place du récepteur ; l'appareil est alors en ordre de transmission. Les différentes fonctions électriques de l'appareil peuvent se subdiviser ainsi :

1° Mouvement de la plume parallèlement au papier;
2° Mouvement d'abaissement et de soulèvement de la plume;
3° Avancement du papier et prise d'encre;
4° Sonnerie d'appel et d'avertissement.

Le mouvement de la plume du récepteur est obtenu par la variation d'intensité des courants continus passant par les deux rhéostats intercalés sur chacun des deux fils. Les courants variables agissent sur les deux bobines galvanométriques Deprez-d'Arsonval, également intercalées sur chaque fil. Pendant les communications, les batteries des deux postes sont en série.

La différence des potentiels entre la ligne et la terre est 54 volts.

Lorsque deux appareils sont en ordre de communication, un courant local passe dans l'électro-aimant qui soulève la plume. Quand le crayon du transmetteur presse sur la plaque sur laquelle le papier est tendu, il actionne un commutateur envoyant du courant au circuit primaire d'une bobine d'induction dont le trembleur se met à vibrer. Le courant vibratoire secondaire est transmis à la ligne à travers un condensateur et actionne un relais à travers un autre condensateur. L'armature du relais est attirée et la plume, lâchée, tombe par son poids sur le papier.

L'avancement du papier est obtenu en poussant avec le crayon du transmetteur jusqu'à fond de course et en relâchant ensuite le (V) situé à gauche du rectangle où l'on écrit. Ce mouvement transmis à angle droit à une bielle reliée à un volet mobile permet de pincer le papier et de le faire avancer. Le papier est emmagasiné sur un rouleau placé sous la planchette du transmetteur. Le mouvement de retour est fait par un ressort. Chaque fois que l'on pousse et relâche le (V) le commutateur coupe et remet le courant sur la ligne. Sur le récepteur, un relais dont l'enroulement est pris par moitié sur chacun des fils et fait dans le même sens a son armature attirée quand le courant, même minime, passe sur les fils de la ligne ; un courant local passe alors dans les électros qui agissent sur le volet mobile et un châssis pince le papier et provoque son déplacement d'une quantité égale à celle obtenue sur le transmetteur.

Réseaux obtenus par la Photographie de franges d'interférence; par M. Cotton.

1. La photographie a déjà servi à faire des *copies* de réseaux. Lord Rayleigh a insisté sur l'intérêt que présente cette application ; il a fait lui-même de nombreuses copies et c'est à cette occasion qu'il a publié ses remarques importantes sur la théorie des réseaux. D'autres physiciens ont appliqué cette méthode. Ainsi M. Izarn, sans connaître les travaux de Lord Rayleigh, a mis en œuvre avec beaucoup de succès le procédé à la gélatine bichromatée et est arrivé à des résultats intéressants (*Comptes rendus*, 1893 et 1895).

D'autre part, M. Cornu avait déjà photographié des franges d'interférence pour obtenir des réseaux particuliers. Au début de ses recherches sur les anomalies focales (*Comptes rendus*, 1875), il avait remarqué qu'il suffisait simplement de photographier des anneaux de Newton (plus exactement

des franges rectilignes suivant la même loi), pour obtenir des réseaux possédant les propriétés particulières des réseaux de Soret.

Dans les expériences dont il communique les premiers résultats, M. Cotton s'est proposé d'obtenir des réseaux par la photographie de franges, mais cette fois *sans employer d'objectif*. Comme l'avait déjà fait remarquer Lord Rayleigh à propos d'un essai où il avait reproduit à la chambre noire un réseau formé par une pièce d'étoffe rayée, un objectif ne permettrait pas, à cause de la nature même de la lumière, d'obtenir des réseaux à traits un peu serrés et bien réguliers.

2. On observe ordinairement, avec les appareils d'interférence usuels, des franges qui ne sont qu'*à peu près* rectilignes et équidistantes. M. Cotton indique la propriété suivante que possèdent ces appareils, ceux du moins dont les surfaces sont planes. Si on les éclaire avec un *faisceau parallèle*, l'espace commun aux deux faisceaux produits est sillonné par des surfaces d'interférence formant une série de *plans parallèles et équidistants*. Une règle simple donne l'orientation de ces plans (ils sont parallèles au plan de symétrie de l'angle formé par les directions des deux sortes de rayons), et la distance de deux plans consécutifs $\left(\text{égale à } \frac{\lambda}{2 \sin \alpha}\right.$ en désignant par 2α l'angle de ces deux directions). Un écran ou une plaque photographique dont la surface est *plane* est alors recouvert par une série de franges rectilignes et équidistantes formant un réseau dont l'intervalle a une valeur qui peut être fixée à l'avance. Si l'on pouvait réaliser un faisceau rigoureusement monochromatique et parallèle et si les surfaces de l'appareil d'interférence et de la plaque étaient parfaitement planes, le réseau obtenu serait sans défauts.

3. Si l'on examine alors comment on peut réaliser pratiquement ces conditions théoriques, en se proposant d'obtenir un réseau ayant un nombre suffisant de traits pour pouvoir rendre des services, on voit facilement que les sources de lumière monochromatiques dont on dispose aujourd'hui sont assez pures, que d'autre part, le plus souvent, la surface sur laquelle viennent se fixer les franges doit seulement être travaillée au même degré de précision que la lame de verre ou de métal sur laquelle on trace les réseaux avec la machine à diviser. C'est surtout le défaut de parallélisme du faisceau (ou plutôt des deux faisceaux) que l'on emploie, provenant en partie des dimensions nécessairement finies de la fente du collimateur, qui limite le nombre de traits que l'on peut obtenir.

Le choix de l'appareil n'est pas indifférent. C'est ainsi qu'avec un biprisme de Fresnel, d'angle convenable, on peut observer au microscope des franges distantes de moins de $2\ \mu$, mais on ne peut en observer qu'un petit nombre. On est dans de meilleures conditions en employant (toujours avec un faisceau sortant d'un collimateur) des appareils donnant des franges qui seraient localisées avec une source un peu étendue.

M. Cotton indique brièvement les dispositifs qu'il compte employer pour utiliser les ondes stationnaires ou les franges de Newton d'un coin d'air, et montre les franges qui lui ont servi dans ses premiers essais.

Ce sont des franges de polarisation chromatique, obtenues avec un prisme biréfringent. La même théorie est encore applicable à ces franges, mais naturellement il faut employer pour les observer un polariseur et un analyseur. Dans l'appareil présenté, le prisme biréfringent est un biprisme de Wollaston. En regardant au microscope les franges obtenues avec la lumière verte de l'arc au mercure, on se rend compte qu'elles sont encore nettes assez loin du plan de localisation (oblique, dans ce cas, par rapport à la face de sortie) lorsqu'on rétrécit un peu la fente du collima-

teur. Pour la photographie, l'analyseur était formé par une grande lame de tourmaline (prêtée par M. Jobin) adossée à la face de sortie et, tout contre cette tourmaline, se trouvait la plaque sensible.

Ces essais ont été faits simplement avec des plaques du commerce (Ilford Alpha, Lumière étiquette rouge) qui présentent après le développement un grain encore trop gros et qui sont loin d'être planes.

Cependant les réseaux obtenus, qui portent fixées environ 1200 franges, à raison de 38 au millimètre, montrent nettement à l'observation directe ou par projection deux spectres diffractés, un de chaque côté. *On ne voit pas de spectre d'ordre supérieur* (à moins qu'on ne modifie la couche par le procédé indiqué par Lord Rayleigh, pour donner plus d'éclat aux copies de réseaux faites avec des sels d'argent, auquel cas le second spectre apparaît).

4. Cette particularité curieuse qui différencie tout à fait le réseau obtenu d'un réseau à traits de même intervalle, tient à ce que l'opacité du cliché varie périodiquement d'un point à l'autre d'une façon *continue*. Dès l'installation des expériences, M. Brillouin l'avait prévue par la théorie. On peut s'en rendre compte facilement en admettant que l'*amplitude* des vibrations qui ont traversé la couche varie d'un point à l'autre suivant la même loi périodique que l'*intensité* de la lumière qui a servi à faire la photographie. L'étude de la diffraction par un tel réseau conduit à la conclusion qu'il ne doit exister que deux faisceaux diffractés, et que l'intensité de chacun d'eux est le *quart* de l'intensité du faisceau direct.

On a supposé dans la théorie une couche sensible particulière, ayant notamment un *grain* très petit. M. Cotton a entrepris des essais sur le daguerréotype.

Des réseaux, dont l'intervalle dépend directement de la longueur d'onde de la lumière qui a servi à les faire, et qui ne donnent qu'un spectre de diffraction, peuvent recevoir diverses applications. En particulier on peut espérer les utiliser dans l'étude de l'infra-rouge.

Arc au mercure de M. Dufour. — Les photographies et les expériences précédentes ont été faites avec un arc au mercure construit par M. Dufour. L'appareil, dont la forme dérive de celle employée par MM. Perot et Fabry, est disposé de façon qu'on puisse utiliser au besoin la lumière plus intense dirigée vers le haut; il est muni d'un tube central en *quartz fondu*. La propriété que possède cette substance de résister très bien aux brusques variations de température fait que l'appareil a l'avantage d'être très robuste. Le modèle en fonctionnement devant la Société peut être actionné par un secteur continu à 110 volts et ne doit alors être rallumé qu'à de longs intervalles. Il peut supporter au moins 4 ampères en régime normal et beaucoup plus pendant un instant.

Indices du quartz fondu. — A propos des propriétés du quartz fondu, on peut ajouter que M. Dufet a mesuré l'indice de réfraction de cette substance. Il l'a trouvé très inférieur aux indices du quartz et voisin de ceux des formes orthorhombique et quadratique de la silice (chrystobalite et tridymite). Voici ses résultats ($t = 19^\circ\text{-}20^\circ$):

$$n(\text{Li}) = 1,456$$
$$n(\text{D}) = 1,4588$$
$$n(\text{Tl}) = 1,4611$$

Visibilité et singularités des franges d'interférence, par M. Raveau.

La lumière qui va d'un point S à un point S′ en traversant un appareil interférentiel peut suivre deux chemins SA...A′S′, SB...B′S′.

Si S est un point lumineux, aux deux rayons émergents A′S′, B′S′ correspondent deux surfaces d'onde dont l'intersection a pour tangente la normale S′F à ces deux rayons. La direction S′F est celle des franges qui se peignent autour de S′ sur un écran π normal au plan A′S′B′.

Si au contraire le plan π est celui d'une source lumineuse et que la lumière se propage en sens inverse, la direction S′F est celle de la fente suivant laquelle il convient de limiter la source pour observer des franges nettes en S.

M. Raveau s'occupe du cas particulier où les deux droites A′S′ et B′S′ sont confondues. La direction S′F est alors indéterminée.

1° Si S est un point lumineux, les franges qui se peignent en π ne sont plus assimilables à des droites. Leur équation, au voisinage de S′, est de la forme

$$ax^2 + 2bxy + cy^2 = k\lambda.$$

Cette remarque a permis de donner une théorie géométrique des franges des miroirs de Jamin, et de découvrir quelques particularités des franges des lames cristallines.

2° Si la source lumineuse est en π et que la lumière se propage en sens inverse, on obtient la règle suivante :

Quand les deux rayons, en lesquels un appareil interférentiel dédouble un rayon unique provenant du point central S′ *d'une source lumineuse, se recoupent en un point* S, *on observe des franges nettes en ce point sans qu'il soit nécessaire de limiter la source par une fente.*

Les deux rayons émergents sont toujours concourants quand ils proviennent d'un rayon incident contenu dans un plan de symétrie. Pour un appareil de Newton, si l'on oberve avec une lunette dont l'axe reste parallèle à lui-même, le lieu des points S, dans le plan méridien parallèle à l'axe, est une droite (Sohncke et Wangerin, Macé de Lépinay). En dehors du plan de symétrie, ce lieu comprend encore un cercle parallèle à la lame mince. (Sohncke et Wangerin).

Réciproquement, en prenant une source linéaire convenablement orientée qui passe par un point S, on obtient des franges elliptiques ou hyperboliques non localisées.

Fonctionnement du résonateur de Hertz et du résonateur à coupure. Champ hertzien ordinaire et champ interférent,
par M. A. Turpain.

Lorsqu'on déplace dans son plan, par une rotation autour de son centre, un résonateur circulaire de Hertz disposé perpendiculairement à la direction des fils de concentration du champ hertzien, on constate que l'étincelle du micromètre présente un éclat maximum lorsque le micromètre se trouve aux extrémités du diamètre perpendiculaire au plan des fils de concentration. On observe également deux positions du micromètre pour lesquelles il y a extinction ou minimum d'éclat : ce sont celles correspondant aux extrémités du diamètre du résonateur situées dans le plan des fils.

Si l'on déplace de la même façon dans son plan un résonateur présentant une coupure, on constate encore l'existence d'azimuts d'extinction et de

maximum d'éclat, azimuts disposés comme les précédents, si l'on rapporte les déterminations non plus à la position du micromètre du résonateur à coupure, mais à la position du milieu de la coupure.

Quelle est la distribution électrique le long d'un résonateur complet de Hertz ? Quelle est-elle le long d'un résonateur à coupure ? Quelle distinction doit-on faire entre le micromètre d'un résonateur complet et celui d'un résonateur à coupure et comment, dans un résonateur à coupure, le micromètre et la coupure se partagent-ils le rôle joué par le micromètre dans un résonateur complet ?

Les diverses théories de la résonance électrique indiquent comme distribution électrique le long d'un résonateur de Hertz en activité une division en deux concamérations successives avec nœud à chacun des pôles du micromètre. Certaines expériences (en particulier l'observation d'un résonateur à quatre micromètres situés aux extrémités de deux diamètres rectangulaires) tendent à faire admettre une division du résonateur en quatre concamérations successives.

La méthode employée dans cette recherche permet de se rendre compte au même instant de l'état électrique des divers points d'un résonateur tout le long du conducteur qui le constitue. A cet effet tout le résonateur est renfermé dans un tube de verre dans lequel l'air est suffisamment raréfié pour permettre au conducteur du résonateur de produire la luminescence de cet air raréfié. Si la raréfaction est convenable, la luminescence ainsi produite peint aux yeux par son éclat plus ou moins vif, plus ou moins estompé, l'état électrique des divers points du résonateur en activité qui la produit.

Les observations faites par cette méthode ont porté sur le résonateur complet, sur le résonateur complet à deux spires, sur le résonateur à coupure et sur un résonateur à deux micromètres (on pouvait, par un écartement suffisant des pôles de chaque micromètre, produire une coupure). On observe que l'aspect présenté par un résonateur complet dont le micromètre est aussi ouvert que possible concorde avec l'aspect présenté par un résonateur à coupure dont le micromètre est fermé. Le premier présente une luminescence maximum au voisinage du micromètre, le second au voisinage de la coupure. Les deux appareils sont en effet les mêmes : *ce sont deux résonateurs à coupure sans micromètres.* La présence du tube à air raréfié permet en effet de se rendre compte du fonctionnement des appareils sans avoir à consulter les micromètres. Ces observations expliquent que les lois du résonateur à coupure soient celles qui régissent le résonateur complet, à condition de faire jouer à la coupure le rôle dévolu au micromètre du résonateur complet. — En ce qui concerne le résonateur à deux micromètres on observe en particulier que, si les deux micromètres donnent simultanément des étincelles, la luminescence intéresse tantôt les extrémités voisines de l'un des micromètres, tantôt les extrémités voisines de l'autre micromètre. Ce fait est dû à ce qu'il peut arriver que l'étincelle éprouve une plus grande difficulté à se produire à l'une des interruptions qu'à l'autre; cela peut avoir lieu tantôt à l'une, tantôt à l'autre des interruptions. *La plus résistante des interruptions joue le rôle de coupure.* Les portions voisines des conducteurs qui y aboutissent sont entourées de luminescence alors que l'autre interruption (*la moins résistante*) est seulement le siège d'une étincelle produite par le courant circulant dans le résonateur. C'est dans cette interprétation de l'expérience qu'il faut voir la distinction à faire entre le micromètre d'un résonateur complet en activité et le micromètre d'un résonateur à coupure en activité. La conclusion de ces diverses expériences est la suivante : *Le résonateur doit être considéré comme ayant un ventre de vibration au milieu de sa longueur et deux nœuds de signes contraires à ses deux extrémités.*

Lorsqu'on tend, à partir d'un excitateur électrique en activité, deux fils

conducteurs parallèles, suivant que ces fils sont reliés à deux plaques terminales voisines de chacun des plateaux de l'excitateur ou qu'ils sont réunis à deux plaques voisines du même plateau de l'excitateur, ces fils de concentration produisent un *champ ordinaire* de Hertz dans le premier cas, un champ que nous avons appelé *champ interférent* dans le second cas. En disposant convenablement un résonateur dans un champ interférent on observe que le déplacement d'un pont ou d'un résonateur, même le long des fils de concentration, est impuissant à produire le fonctionnement du résonateur. Il est d'ailleurs facile de transformer un champ ordinaire en champ interférent, et *vice versa,* par l'addition dans une coupure faite sur l'un des fils de concentration d'une longueur additionnelle de fil égale à la demi-longueur d'onde des oscillations qui excitent le résonateur qui sert à l'observation. Suivant qu'on supprime ou non cette longueur additionnelle par la manœuvre d'un pont, on transforme ou non le champ ordinaire avant la longueur additionnelle en champ interférent après la longueur additionnelle.

On peut différencier d'une manière très nette le champ ordinaire du champ interférent sans avoir recours à l'observation d'un résonateur. Il suffit de faire traverser aux fils de concentration un espace dans lequel l'air est convenablement raréfié. Une cloche de 2^{lit} à 3^{lit} de capacité reposant sur un plan de verre est traversée par deux tubes de verre parallèles mastiqués dans la paroi et que traversent les fils de concentration du champ.

Ce dispositif permet de déplacer la cloche le long des fils. L'air de la cloche est amené à un degré convenable de raréfaction. On constate que la luminescence produite par les fils de concentration est très faible lorsque les fils concentrent un champ interférent et qu'elle devient très vive lorsqu'ils concentrent un champ ordinaire.

Cette méthode d'observation des phénomènes hertziens dans le vide peut être généralisée et appliquée à l'étude de la manière dont le champ influe sur un résonateur. A cet effet, on dispose dans la cloche un résonateur qu'on peut, par des mouvements convenables donnés à la cloche, soit suspendre à un crochet qui le maintient dans une position telle que son plan est perpendiculaire au plan des fils de concentration, soit placer sur les tubes mêmes qui servent de guides aux fils de concentration du champ (le plan du résonateur est alors parallèle au plan des fils de concentration), soit enfin faire tomber dans la partie inférieure de la cloche et le soustraire ainsi à l'action du champ. Il est ainsi facile d'observer les différences dans les aspects de la luminescence qui se produit à l'intérieur de la cloche dans les divers cas.

Les phénomènes observés confirment les observations précédemment faites avec les résonateurs à gaine d'air raréfié.

Les mesures de longueur d'onde faites par les déplacements d'un pont ont montré que la demi-longueur d'onde des oscillations qui excitent un résonateur donné est très sensiblement égale à la longueur du résonateur. La perturbation micrométrique observée dans les mesures faites dans l'air doit être rapportée à la présence de l'air. Ce résultat est confirmé par la comparaison des mesures faites à l'aide d'un résonateur à coupure et à micromètre disposé dans une cloche à air raréfié et dont le micromètre est, par un dispositif spécial, successivement maintenu dans l'air, puis dans l'air convenablement raréfié.

L'application de cette méthode consistant à disposer dans l'air raréfié non plus le résonateur seul, mais encore la portion du champ hertzien qui avoisine le résonateur, y compris les fils de concentration, est susceptible de fournir, en offrant une sorte de spectre du champ hertzien, d'autres renseignements intéressants. Nous en poursuivons actuellement l'étude.

Sur les aciers au nickel. — M. Ch.-Éd. Guillaume expose ensuite l'ensemble des travaux faits depuis quelques années dans le but d'examiner les propriétés singulières des aciers au nickel. Il rappelle les recherches d'Hopkinson, de MM. H. et A. Le Chatelier, de M. Osmond, de M. E. Dumont, de M. L. Dumas, dont quelques-unes sont antérieures et d'autres postérieures à ses propres travaux.

Les additions de nickel au fer modifient ses propriétés d'une façon progressive et finissent par les dénaturer complètement. Ces alliages peuvent appartenir à deux classes distinctes, douées ou non d'hystérésis, et que M. Guillaume a désignées sous le nom d'*irréversibles* ou de *réversibles*. Les alliages riches en fer appartiennent à la première catégorie, ceux riches en nickel à la seconde. Aux températures ordinaires, la séparation entre les deux sortes d'alliages se fait vers 25 pour 100 de nickel ; mais on peut constater des transformations irréversibles à des températures très basses au-dessus de cette teneur, et des changements réversibles au-dessous, en additionnant les alliages d'un peu de carbone, de chrome ou de manganèse.

Un alliage irréversible, ramené d'une température élevée, est généralement dépourvu de magnétisme ; refroidi au-dessous d'une certaine température, il devient magnétique et conserve son magnétisme lorsqu'on remonte au-dessus de cette température, pour le perdre lorsqu'on atteint le rouge sombre. La température inférieure de la transformation s'abaisse à mesure qu'augmente la teneur en nickel, et atteint 0° pour 25 pour 100 environ. Un alliage réversible devient graduellement magnétique par le refroidissement à partir d'une température déterminée et perd ses propriétés magnétiques dans la même mesure lorsqu'on le réchauffe.

L'apparition du magnétisme est accompagnée, dans les premiers alliages, d'une augmentation du volume et, dans les seconds, d'une diminution de la contraction normale que l'on devrait observer au refroidissement. Dans le premier cas, l'augmentation du volume peut atteindre 2 pour 100 par la transformation ; dans le second, la diminution réversible de la contraction peut atteindre une importance telle que l'alliage est presque indilatable. Ainsi pour 35 à 36 pour 100 de nickel, on obtient des alliages dont la dilatation n'est que le dixième environ de celle du platine. De part et d'autre de cette teneur, la dilatation s'élève et le coefficient du terme quadratique dans la formule exprimant la variation de longueur avec la température suit aussi une marche singulière. Jusque vers 36 pour 100, il est positif, prenant même des valeurs beaucoup plus grandes que dans tous les alliages étudiés jusqu'ici. Entre 36 et 47 pour 100 environ, il est négatif et redevient positif au delà de cette teneur. Il existe donc deux alliages dont la dilatation est exprimée par une fonction rigoureusement linéaire de la température.

Un alliage irréversible, en outre de la variation permanente de volume qu'il éprouve, se modifie aussi dans toutes ses propriétés par la transformation magnétique. Sa dilatabilité, voisine de celle du laiton lorsqu'il est non magnétique, arrive à celle de l'acier lorsque la transformation est complète. Entre ces deux extrêmes, cette dilatation peut prendre toutes les valeurs intermédiaires.

Le module d'élasticité des alliages irréversibles diminue, en même temps que la limite élastique s'élève considérablement pendant la transformation ; celui des alliages réversibles passe par un minimum assez voisin du minimum des dilatations.

Plusieurs théories ont été proposées pour expliquer les diverses anomalies des aciers au nickel. M. Guillaume avait d'abord pensé que le fer et le nickel sont susceptibles de former des composés variables, sujets à se dissocier aux températures basses, en passant par une série d'états d'équilibres, stables dans les alliages réversibles et en atteignant, dans les irréversibles,

une courbe limite d'équilibres instables. M. Le Chatelier estime, au contraire, que les phénomènes observés peuvent être expliqués en considérant seulement les transformations connues du fer et du nickel, transformations dont le début est retardé et dont la période d'accomplissement est considérablement allongée par la présence d'un corps étranger. Précisant cette théorie, M. Dumas considère les transformations douées d'hystérésis comme étant propres au fer et les autres comme appartenant au nickel. Dans les idées de M. Osmond, cette théorie expliquerait difficilement l'existence des alliages réversibles très peu dilatables; de plus, des expériences récentes de M. Nagaoka ont montré que la magnétostriction de ces alliages est loin de correspondre à celle d'une dissolution de nickel magnétique. On peut donc dire qu'aucune des théories ébauchées jusqu'ici n'est parfaitement satisfaisante. Celle des combinaisons variables a l'avantage de pouvoir comprendre un plus grand nombre de phénomènes.

Les propriétés singulières des aciers au nickel ont conduit à d'intéressantes applications que M. Guillaume a tenté de réaliser avec la coopération de la Société de Commentry-Fourchambault. Il signale notamment l'emploi des alliages peu dilatables à la construction des instruments de précision en général et des instruments de Géodésie, en particulier, à celle des pendules compensés, des thermomètres bimétalliques, etc. Le fait de l'existence d'un deuxième coefficient négatif dans quelques alliages permet de construire un balancier compensateur acier-nickel et laiton, dont l'action augmente progressivement avec la température. Ce balancier, convenablement construit, corrige la variation progressive de l'élasticité des spiraux d'acier, et permet d'annuler rigoureusement l'erreur secondaire des chronomètres, résultat effectivement obtenu par M. Nardin et M. P. Ditisheim. On peut aussi fabriquer des fils se soudant au verre et susceptibles de servir de conducteurs dans les lampes à incandescence, etc.

M. Guillaume fait aussi fonctionner un coupe-circuit construit par la Compagnie française d'appareillage électrique et consistant en une spirale d'acier-nickel réversible retenue en place par un aimant aussi longtemps qu'elle est magnétique et quittant sa position lorsqu'elle cesse d'être magnétique. Dans le modèle présenté, le courant est interrompu dès qu'il atteint $0^{amp},3$; on le rétablit instantanément en ramenant la spirale au contact de l'aimant.

SÉANCE DU 19 AVRIL 1901.

Présidence de M. Pellat.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 mars est lu et adopté.

M. le Président annonce la perte douloureuse que la Société vient de faire en la personne de M. *Xambeu*, Principal honoraire du Collège de Saintes, ancien Membre du Conseil de la Société.

La Société des Ingénieurs allemands demande des collaborateurs bénévoles pour le Dictionnaire technique allemand-anglais-français dont elle prend à sa charge la publication. Elle fournit à chaque collaborateur un

carnet divisé en trois sections divisées alphabétiquement et destinées à recevoir les termes et expressions (français, par exemple) avec leurs traductions (en anglais et allemand), relatifs à une branche de la technique choisie par le collaborateur, de préférence « les sciences techniques et celles qui font l'objet de brevets ». Les communications relatives à ce « *Technolexicon* » doivent être adressées au rédacteur en chef : *Dr Hubert Jansen*, Berlin NW. 7, Dorotheenstr. 49.

Cette demande est accompagnée d'une circulaire indiquant d'une manière détaillée le but de la publication et le plan de travail adopté, ainsi que d'un exemplaire de carnet.

M. le Président rend compte en ces termes des réunions tenues pendant la semaine de Pâques.

« Messieurs,

» Je me conforme à l'usage qui veut que votre Président vous fasse un compte rendu de notre fête annuelle de Pâques. C'est, du reste, un vrai plaisir pour moi : il est toujours agréable d'avoir à remercier et j'aurai de nombreux remercîments à faire.

» Par une heureuse innovation, due à notre nouveau Secrétaire général, M. Abraham, les Conférences ont eu lieu cette année dans l'Amphithéâtre de Physique de la Sorbonne, mis aimablement à notre disposition par M. le Doyen de la Faculté des Sciences. Elles ont été plus nombreuses, ont eu plus de solennité que les années précédentes et ont été chaleureusement applaudies par leur public habituel, qui pouvait les écouter plus commodément que dans les salles de la Société d'Encouragement au milieu de notre exposition.

» Le vendredi 12 avril :

» M. P. Weiss nous a fait connaître un nouveau système de voltmètres et d'ampèremètres dont les indications sont rendues indépendantes des variations accidentelles de leur aimant permanent. L'intérêt pratique de ces appareils n'échappera à personne.

» M. C. Camichel a exposé les très intéressantes expériences qu'il a faites en collaboration avec M. Bayrac sur la relation entre la constitution chimique des indophénols et la position de la région du spectre la plus absorbée par ces substances. L'optique met ainsi à la disposition des chimistes un nouveau moyen d'investigation.

» M. D. Korda a bien voulu nous présenter le télautographe, ce merveilleux appareil, si simple en principe, de MM. Elisa Gray et Ritchie, qui permet de transmettre à distance l'écriture, une signature ou un dessin quelconque, au moyen de traits continus, ce qui le distingue de l'instrument imaginé par Caselli et de ses modifications.

» Les Conférences du samedi 13 avril n'ont pas été moins intéressantes :

» M. A. Cotton nous a exposé la méthode qu'il compte employer pour s'affranchir de l'emploi d'une machine quelconque dans la fabrication de réseaux parfaits. Elle consiste à photographier sans objectif et, par conséquent, sans déformation, des franges d'interférences rigoureusement équidistantes.

» Il nous a montré aussi l'arc au mercure dans l'appareil à tube de quartz de M. Dufour, dont il s'est servi pour ses expériences.

» M. Turpain a apporté de Bordeaux un matériel considérable pour répéter devant nous ses belles expériences sur le champ hertzien ordinaire, le champ interférent et les résonateurs à coupure, dont l'état électrique est décelé par les effets lumineux qu'ils produisent dans un tube ou dans un vase à gaz raréfié.

» Enfin la série de ces conférences a été terminée par le magistral et si intéressant exposé que M. Guillaume nous a fait des remarquables propriétés des aciers au nickel.

» J'adresse de bien vifs remercîments à tous nos conférenciers; l'attraction produite par l'annonce de leur communication a été si grande que beaucoup des membres de notre Société ont sacrifié la visite en détail de notre exposition, qu'ils avaient l'habitude de faire dans les après-midi du vendredi et du samedi, pour aller les écouter.

» Dimanche dernier, le Conseil a décidé que, pour permettre aux Membres de la Société de visiter notre exposition tranquillement dans l'après-midi et d'assister aussi aux conférences, celles-ci auraient lieu, les années suivantes, dans les matinées du vendredi et du samedi.

» Maintenant, passons de la Sorbonne dans les salles de la Société d'Encouragement où s'étale, encore plus brillante et plus intéressante que d'habitude, notre exposition.

» Et, tout d'abord, ce qui frappait, dès l'entrée, le visiteur du soir c'était le luxueux éclairage du vestibule, de l'escalier et des salles. L'escalier était éclairé par la Compagnie française de l'acétylène dissous (procédé G. Claude et A. Hess), l'incandescence des manchons Auer par l'acétylène donnait une lumière éblouissante. L'économiseur électrique (système Weissmann et Wydts) éclairait la salle du Conseil. La Société d'éclairage, de chauffage et de force motrice par l'alcool éclairait par ses becs (système Denayrouze) la salle d'entrée du premier étage d'une lumière blanche et douce. Les jolies lampes à incandescence du système Solignac ornaient la grande salle. Enfin, l'éclairage de la porte d'entrée était fait par la Compagnie parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz; mais il y a plus : ce bel éclairage reste définitif, la Compagnie du gaz nous ayant offert gracieusement les appareils et se chargeant à ses frais de remplacer les manchons des becs Auer quand ils seront usés.

» Nous adressons tous nos remercîments aux personnes qui ont ainsi répandu à flot la lumière sur notre exposition : les nouveaux lumenmètres à diffusion exposés par M. Blondel ont dû donner des valeurs surprenantes.

» Je suis amené ainsi à commencer la description très sommaire des appareils exposés par l'Optique, qui fournit toujours beaucoup à nos expositions.

» M. Chabaud nous a présenté les arcs au mercure de MM. Pérot et Fabry modifiés, et M. Cotton l'arc au mercure avec tube central en quartz fondu de M. Dufour, ainsi que les premiers réseaux obtenus par la méthode qui a fait l'objet de sa conférence.

» M. Champigny a exposé, entres autres, une loupe d'étude à oculaire divergent et plusieurs viseurs à micromètre originaux, soit se plaçant sur un oculaire de lunette ou de loupe, soit faisant partie de l'oculaire d'une lunette de Galilée, soit enfin se disposant par delà l'objectif d'une lunette et donnant l'autoréduction dans la mesure des distances.

» M. P. Culmann a présenté les nouveaux réfractomètres de la maison Zeiss d'Iéna, dont il a donné une description si claire dans une récente séance de la Société.

» M. Dongier, dans la même séance, nous avait montré et décrit un appareil pour mesurer les courbures et les éléments d'un système optique quelconque. Cet appareil, remarquable par la facilité des mesures, a figuré à notre exposition.

» M. Fournier a exposé des jumelles à prismes d'une grande luminosité.

» MM. Gaumont et Cie ont fait fonctionner dans la salle de la bibliothèque leur cinématographe et ont montré les services que cet appareil peut rendre aux sciences et à l'industrie. Inutile d'ajouter que le spectacle faisait salle comble.

» C'est aussi un cinématographe, mais un cinématographe de salon, à vision directe, si je puis m'exprimer ainsi, que M. Huet nous a présenté sous le nom de *diocinescope*, avec ses jumelles à prismes et son sexant-télémètre.

» Dans la salle de la bibliothèque, MM. Radiguet et Massiot ont aussi intéressé vivement les spectateurs par des projections faites avec leur microscope pour l'enseignement et avec leur lanterne triple pour photographies trichromes.

» A propos de projection, je n'aurais garde d'oublier de rappeler les projections si remarquablement lumineuses obtenues par un bec Auer alimenté par l'acétylène, et exécutées dans la petite salle du rez-de-chaussée par la Société de l'acétylène dissous.

» Une mention spéciale est encore due au charmant petit appareil de projection de M. Lafont, l'*héliorama*, construit par MM. Benoist et Berthiot.

» Pour en revenir à l'Optique scientifique, je signalerai : l'appareil de M. Macé de Lépinay, construit par M. Meinardi, qui produit des franges d'Herschell d'une finesse merveilleuse; les expériences d'interférence de M. Sagnac; celles sur le spectre d'absorption des indophénols de M. Camichel, et, se rapportant au même sujet, des spectres d'absorption de matières colorantes de M. Lemoult.

» La microscopie était représentée par les appareils de M. Nachet et par ceux de M. Stiassnie. Le premier nous a montré un nouveau microscope à grand champ donnant des images droites, ainsi qu'un microscope spécialement disposé pour la microphotographie. Le second a exposé un microscope d'un nouveau modèle et un microtome de grande dimension du D[r] Radais.

» J'ai gardé pour la fin les expositions de nos deux grands constructeurs d'instruments d'Optique scientifique, M. Jobin et M. Pellin, dont je n'ai pas à faire l'éloge devant les Membres de la Société.

» M. Jobin a exposé un nouvel analyseur à pénombre, imaginé par M. Macé de Lépinay, et un grand et beau polarimètre, avec spectroscope Thollon, qui m'a servi dans des recherches sur le pouvoir rotatoire du sucre.

» M. Pellin a présenté une nombreuse collection d'appareils intéressants, parmi lesquels je rappellerai :

» Le spectroscope à échelle réglable de M. de Gramont et celui de M. Yvon; un spectroscope à prisme de spath; les appareils d'interférence de M. Mascart; le microscope de M. Le Chatelier; la lunette de MM. Le Chatelier et Coupeau pour la mesure des dilatations par les déviations d'un miroir en silice; le réfractomètre de M. Ch. Véry; un grand colorimètre pour les liquides très peu colorés; un héliographe à latitude variable; la collection stéréoscopique du campylographe du R. P. Dechevrens; l'hématospectroscope du D[r] Hénocque; l'appareil pour les franges secondaires de M. Damien; l'appareil de M. Munier-Chalmas pour la projection des lames de roches; le stéréoscope du D[r] Parinaud et celui de M. Cazes.

» Comme se rattachant à l'Optique, il convient de citer maintenant la collection des substances radio-actives découvertes par M. et M[me] Curie qui ont été exposés par la Société centrale des produits chimiques. Certainement, nous avons tous appris avec plaisir que ces produits si remarquables commencent à être fabriqués industriellement.

» Des rayons de Becquerel aux rayons de Röntgen, la transition est toute naturelle. Les appareils pour l'étude ou les applications de ces rayons étaient nombreux. Citons parmi eux : les tubes de Crookes du modèle de M. Chabaud; la lanterne de M. le D[r] Bouchacourt pour l'examen radioscopique; les appareils de mensuration exacte du squelette et des organes donnant une image nette en radiographie de M. G. Contremoulins et,

enfin, les instruments auxiliaires de l'examen radioscopique de M. Beclère.

» La belle exposition de M. Chabaud renferme aussi plusieurs appareils remarquables de M. Villard, qui vont nous faire passer des tubes de Crookes aux autres instruments d'Électricité. C'est d'abord un oculaire stéréoscopique synchrone, qui donne le relief en radioscopie. Ensuite, les appareils de M. Villard pour ses expériences sur les rayons cathodiques, que nous avons plusieurs fois applaudies dans nos séances ordinaires; ses soupapes électriques destinées à empêcher le passage dans un tube de Crookes du courant inverse de la bobine; un très ingénieux interrupteur à mercure qui peut être réglé synchroniquement avec un courant alternatif et qui permet de ne lancer dans le circuit qu'une portion de la phase, de façon à obtenir soit le fonctionnement d'une bobine de Ruhmkorff, soit la charge des accumulateurs. Signalons encore le transformateur de 1500 watts pour courant alternatif avec prises de courant donnant de 20 à 150 volts de M. Chabaud.

» Parmi les autres instruments très nombreux se rapportant à l'Électricité, je cite un peu au hasard :

» Les appareils de MM. Arnoux et Chauvin : microhmètre à lecture directe; voltmètre portatif étalon à plusieurs sensibilités; électromètres apériodiques, etc.

» Les transformateurs à courant continu et les moteurs électriques de M. Blondeau.

» Les rhéostats de M. Cance, si commodes non seulement pour l'industrie, mais aussi pour nos laboratoires.

» Le tableau de charge pour automobiles et un appareillage pour 440 volts de la Compagnie française d'appareillage électrique, présentés par un de ses directeurs, M. Zetter, un des fidèles de nos expositions.

» L'oscillographe monofilaire et bifilaire de M. G. Dobkevitch.

» Dans l'exposition de MM. Gaiffe et Cie : un interrupteur rapide sans mercure, de MM. Contremoulins et Gaiffe, permettant de régler l'étincelle des bobines depuis 1^{mm} jusqu'au maximum; un appareil fort remarqué construit sur les indications de MM. G. Claude et L. Bombe de Villiers pour la localisation des défauts d'isolement dans les systèmes de canalisation à caniveaux souterrains; une machine statique et plusieurs autres appareils intéressants.

» Le nouveau modèle d'électro-aimant à longue course de MM. A. Guenée et Cie, qui produit des efforts constants de l'ordre des centaines de kilogrammes sur une course de 20^{cm} ou plus. L'importance pratique de cet électro-aimant est de toute évidence.

» Une lampe électrique en vase clos de M. Froment, à régulateur automatique sans chaîne ni balancier, ni mouvement d'horlogerie.

» Un nouvel électroscope condensateur de M. Hurmuzescu.

» Les tableaux et appareillage pour basse et haute tension, les moteurs et les dynamos de M. Iliyne Berline.

» Les diapasons entretenus électriquement et la sirène Bourbouze de M. Lancelot.

» Une collection d'appareils électriques de MM. Japy frères, parmi lesquels je signalerai spécialement le compteur Blathy pour courant triphasé et le compteur Japy pour courant continu. Ce sont aussi MM. Japy qui ont construit les nouveaux voltmètres et ampèremètres ayant fait l'objet de la conférence de M. Pierre Weiss.

Dans l'exposition de MM. Lecarme frères et Michel, je signalerai : un appareil de télégraphie sans fil muni d'un radioconducteur Branly à limaille d'or et un appareil de télégraphie sans fil qui a fonctionné dans les expériences faites au mont Blanc, ainsi qu'une bobine d'induction grand modèle avec un interrupteur en dérivation.

» Des clichés photographiques de décharges électriques de M. Stéphane Leduc.

» Des appareils pour analyses électrolytiques, des fours électriques, des appareils pour la préparation du fluor, de MM. Meslans et Poulenc, avec collaboration de M. Gaiffe pour les premiers.

» Un four électrique à tube; une étuve à culture chauffée par l'électricité; un centrifugeur électrique, présentés par M. P. Lequeux, ainsi qu'une grille à température constante de M. A. Gautier et un petit four à gaz de M. Bruno.

» Un appareil de M. Cotton pour la mesure des champs magnétiques, construit par M. Pellin.

» Un électrolyseur nouveau modèle de M. E. Peyrusson.

» L'exposition de MM. Radiguet et Massiot nous a montré, comme d'habitude, de belles expériences de haute fréquence et de haute tension. Cette année, elles étaient faites avec les spirales de M. le D[r] Guilleminot, qui donnent des effets remarquables. Signalons aussi un transformateur à combinaisons multiples des mêmes constructeurs : l'inducteur, l'induit, la longueur et la nature de l'étincelle sont variables.

» Des appareils de mesure électriques de MM. Ch. Rousselle et Ch. Tournaire.

» Les applications de l'électricité au chauffage au moyen des résistances métallo-céramiques de la Société anonyme des anciens établissements Parvillé frères et C[ie], dont M. Goisot faisait aimablement les honneurs. La même maison exposait aussi des isolateurs en porcelaine, à grand espace vide entre le support métallique et le fil, destinés aux courants de haut voltage, pour diminuer la capacité des lignes aériennes.

» Un électroscope et un électromètre de M. Curie, ainsi que de nouveaux appareils électriques de démonstration de MM. Paquier et Boulay, présentés par la Société centrale des produits chimiques.

» Une machine électrostatique à 6 plateaux; un résonateur Oudin et un excitateur de M. le D[r] Bergognié, exposés par M. Royourt, le successeur de Bonetti.

» De nouvelles plaques d'accumulateurs de MM. d'Arsonval et Vaugeois.

» Des régulateurs automatiques pour courants alternatifs et pour courants continus des lampes à arc, ainsi qu'une série de 6 moteurs électriques envoyés de Genève par M. H. Cuenod.

» Une pile électrique de M. Rosset, qui mérite une mention spéciale. Elle a la forme d'une pile Leclanché, mais le dépolarisant est formé par du cuprate d'ammonium qui est amené à l'état de cuprite par le fonctionnement; or, celui-ci est ramené à l'état de cuprate par l'air, et le dépolarisant est ainsi constamment régénéré.

» M. Carpentier, comme toujours, nous a apporté de magnifiques appareils : un nouveau potentiomètre d'une forme originale; un électro-aimant, système P. Weiss. Mais ce qui a surtout fixé notre attention, c'est une disposition spéciale pour bobine de Ruhmkorff permettant son fonctionnement, soit par courant continu, soit par courant alternatif, grâce à un transformateur et à un redresseur de phases.

» Dans la belle exposition de M. Richard, nous avons pu voir aussi un certain nombre d'appareils électriques, tels qu'un nouveau voltmètre thermique enregistreur à cadran, qu'un wattmètre pour courant triphasé, qu'un indicateur de puissance pour courants alternatifs, qu'un indicateur de couplage, etc. Parmi ces dispositifs ingénieux, je signalerai tout particulièrement l'emploi d'un servo-moteur en miniature pour la transmission et l'enregistrement des indications des thermomètres, baromètres, etc., idée des plus heureuses, car le servo-moteur permet de vaincre les frottements tout en laissant sa sensibilité entière à l'organe principal.

» Enfin, signalons une transformatrice et une dynamo placées dans le

sous-sol qui nous fournissaient le courant continu et qui nous avaient été obligeamment prêtées par M. P. Janet.

» Parmi les appareils qui ne se rapportent ni à l'Optique ni à l'Électricité, je mentionnerai :

» Une nouvelle trompe à mercure de MM. Berlemont et Jouard, dans laquelle il n'y a aucun robinet, et qui se démonte facilement pour le nettoyage.

» L'appareil pour l'étude des mouvements tourbillonnaires permanents dans les liquides propageant de la chaleur par convection de M. Bénard.

» Un grand cylindre enregistreur à vitesse variable depuis un tour à la seconde jusqu'à un tour en quinze minutes de M. Broca, construit par M. Pellin.

» Une balance spéciale pour l'étalonnage des poids; une balance disposée pour effectuer une pesée sans ouvrir la cage et une série de poids étalons en bronze blanc, exposés par M. Collot.

» Une grande balance à chaîne et un horizon gyroscopique entretenu électriquement, de M. Démichel.

» La Compagnie de Saint-Gobain, Chauny et Cirey nons a fait admirer les produits de sa fabrication : la belle glace platinée qui se trouvait dans le fond de la grande salle; des lentilles de Fresnel; des bacs pour accumulateurs; des tableaux de distribution et socles d'appareils électriques en opaline; etc.

» M. Hamy a exposé un bain de mercure à couche épaisse amortissant les trépidations du sol pour les instruments d'astronomie, appartenant à l'Observatoire de Paris.

» M. Raveau a exposé les photographies d'ondes aériennes de M. Wood, qu'il avait bien voulu nous montrer dans une récente séance de la Société.

» Les auxiliaires du physicien ne sont pas seulement les appareils; ce sont aussi les Ouvrages et les Mémoires qui garnissent sa bibliothèque et l'encombrent quelquefois; les fiches bibliographiques sont d'un usage commode pour s'y reconnaître. M. P. Renaud nous a montré un meuble bibliographique contenant les articles du *Mois scientifique et industriel* découpés et collés sur fiches.

» Enfin, parmi nos visiteurs du samedi soir, il y a souvent des enfants : on peut être physicien et père de famille; et puis, dans une réunion d'hommes réputés sérieux, combien y en a-t-il qui ne sont pas un peu enfants? C'est à eux, c'est à les amuser qu'a songé M. Trouvé, en installant près de la porte d'entrée ce grand parapluie vert dans lequel retombaient en courbes gracieuses d'innombrables petites billes de celluloïd diversement colorées et vivement éclairées pour la joie des yeux.

» Vous voyez, Messieurs, par cette énumération déjà bien longue et pourtant incomplète, quelles étaient les richesses que nos exposants ont présentées à nos visiteurs, ce dont je les remercie tous bien sincèrement. Cette exposition, comme je vous le disais au commencement, a été encore plus belle que d'habitude. Or, plus que jamais, elle a été l'œuvre de notre agent, aussi habile que dévoué, M. Sandoz. C'est lui seul qui a fait les innombrables visites nécessaires pour provoquer la bonne volonté des exposants; c'est lui qui a assigné à chacun sa place, groupé d'une façon heureuse et à la satisfaction de tous les attractions, rédigé le catalogue, etc. Cette besogne écrasante, M. Sandoz l'a supportée gaiement, heureux de se dévouer une fois de plus pour notre Société. Je lui adresse mes plus vives félicitations pour la réussite de son œuvre.

» Messieurs, je termine en vous rapportant une parole que j'ai entendue vers la fin de l'Exposition universelle et qui, comme ami de la Société de Physique, m'a été au cœur. Un de nos grands constructeurs disait que les Expositions universelles ne présentaient pas pour les exposants de sa partie un avantage en rapport avec les peines et les soucis qu'elles donnaient, que

pour lui les véritables expositions profitables et agréables étaient les expositions annuelles de la Société de Physique. J'espère, Messieurs, qu'elles conserveront toujours cette bonne réputation. »

Étude sur les divers systèmes d'éclairage. Distribution de chaleur. Force motrice, par M. Lauriol. — L'auteur expose les récents progrès relatifs à l'éclairage, au chauffage et à la force motrice, et en même temps ses recherches personnelles sur ces diverses questions.

Il passe en revue les progrès de l'éclairage au *gaz* par incandescence, qui permet actuellement de ne brûler que 10 à 15 litres de gaz (soit $0^{cent},30$) par carcel-heure, au lieu des 105 litres qu'exigeait le bec Argan et des 130 qu'exige le bec papillon. — Il indique les diverses méthodes de production des *gaz pauvres* (*gaz à l'eau*) obtenus par le passage de la vapeur d'eau sur le charbon incandescent, auxquels, en Angleterre, on mêle des vapeurs de pétrole; on obtient ainsi un mélange pratiquement comparable au gaz ordinaire, au triple point de vue de l'éclairage, du chauffage et de la force motrice.

Les lampes à *pétrole lampant*, qui ont malheureusement l'inconvénient de siffler et dont l'allumage exige quelques minutes, ne consomment par carcel-heure que 4 grammes de pétrole, soit $0^{cent},12$, tandis que les lampes à pétrole ordinaire consomment dix fois plus.

Le prix élevé du carbure de calcium (au moins 25 centimes le kilog) porte à $0^{cent},72$ le carcel-heure fourni par l'*acétylène*. L'auteur insiste sur les inconvénients des orifices très fins d'écoulement de l'acétylène qui sont nécessaires et malheureusement difficiles à réaliser parfaitement; il indique des résultats personnels relativement à l'éclairage par l'acétylène. — L'incandescence par l'acétylène fournit le carcel-heure à $0^{cent},15$.

M. Lauriol passe ensuite à l'électricité. Il parle des lampes à arc sans rhéostat employées avec succès dans quelques rues de Paris, des nouvelles lampes à incandescence (lampe Nernst, lampe à osmium de M. Auer, lampes à filament de bas voltage, lampes à filament de haut voltage — 220 volts).

Le *chauffage électrique* revient à 15 centimes le kilowatt-heure, prix environ égal à 6 fois celui que coûte le chauffage au gaz. D'après des expériences de l'auteur, il y a, dans le chauffage au gaz, perte de la moitié de la chaleur dans la cheminée. La calorie-gaz ne coûterait que $\frac{1}{12}$ de la calorie électrique si elle était utilisée intégralement.

A propos de la communication de M. Lauriol, M. Le Chatelier indique un progrès intéressant relatif à la fabrication du gaz à l'eau. Il insiste sur le fait que le gaz à l'eau ne donne pas un rendement supérieur à celui du gaz pour l'éclairage par incandescence. Il dit qu'il serait intéressant d'avoir des renseignements sur la *compression* du gaz et sur l'utilisation du gaz comprimé dans des appareils de petites dimensions.

M. Pellat demande des renseignements sur les précautions prises pour éviter l'empoisonnement par l'oxyde de carbone des gaz à l'eau.

M. Lauriol répond que l'on peut donner une odeur très forte aux gaz à l'eau par la carbylamine. Il faut naturellement pour le gaz à l'eau (qui renferme 40 pour 100 en volume de CO) de bonnes canalisations, aussi bien d'ailleurs que pour le gaz d'éclairage (qui renferme 7 à 8 pour 100 de CO).

M. Le Chatelier exprime le désir que l'on puisse se procurer des becs

pour le gaz comprimé. Il insiste sur la facilité avec laquelle la compression est possible au moyen des petits moteurs à air chaud, système Henrici, dont l'installation n'entraîne qu'une dépense insignifiante.

SÉANCE DU 3 MAI 1901.

Présidence de M. Pellat.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Les procès-verbaux des séances des 12, 13 et 19 avril sont lus et adoptés.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Aubert (Paul), Professeur au Collège Stanislas.
Chadenson, Conducteur des Ponts et Chaussées, à Tence (Haute-Loire).
Champigny, Ingénieur opticien, à Paris.
Moreux (l'Abbé Th.), Professeur à l'École Saint-Célestin, à Bourges (Cher).
Huet (Ernest), Docteur en Médecine, à Paris.
Le Bayon, Docteur en Médecine, à Paris.
Morin, Docteur en Médecine, à Nantes (Loire-Inférieure).
Moussette (Charles), Ingénieur-chimiste, à Paris.
Rivière, Docteur en Médecine, à Paris.
Roycourt (Eugène), Constructeur-électricien, successeur de M. Bonetti, à Paris.
Weissmann (Gustave), Ingénieur des Constructions civiles, E. C. P., à Paris.

Le Président annonce à la Société la mort de M. *H.-A. Rowland*, professeur à l'Université Johns Hopkins, Membre honoraire de la Société, décédé à Baltimore à l'âge de 53 ans, et donne la parole à M. Guillaume pour rendre compte de ses travaux.

M. Guillaume rappelle les premières recherches exécutées par Rowland en 1872, et consacrées à la perméabilité du fer, complétées plus tard par des expériences analogues sur le nickel et le cobalt; on y trouve déjà d'éminentes qualités de chercheur, et un esprit très ouvert aux conceptions nouvelles; Rowland y parle, en effet, déjà de la *perméabilité magnétique*, notion devenue classique depuis lors. Mais ce furent surtout les expériences sur la convection électrique qui attirèrent l'attention sur le jeune physicien. Helmholtz cherchait à vérifier les idées de Weber sur la nature du courant électrique, et avait engagé un de ses élèves, M. Schiller, à mesurer les effets électromagnétiques d'une charge en mouvement; mais le résultat avait été négatif, et Rowland, alors en congé en Allemagne, vint lui présenter un plan d'expériences qu'Helmholtz agréa, et qui furent exécutées dans son laboratoire. On sait combien cette expérience, dont le résultat fut très net, contribua à affermir l'idée de l'analogie entre un courant électrique et un transport mécanique d'électricité, sur laquelle a été édifiée la théorie des ions, celle des rayons cathodiques, celle des corps radioactifs, etc.; et si même les résultats obtenus récemment par M. Crémieu conduisent à la modifier ou même à l'abandonner, on ne pourra méconnaître qu'elle aura été très fructueuse.

Les expériences exécutées par Rowland en collaboration avec M. Nichols sur les diélectriques avaient pour but de vérifier ses idées sur la cause des résidus, qu'il attribuait à l'orientation diverse des cristaux dans le champ. Il avait pensé trouver un appui de cette idée dans le fait que le verre donne des résidus importants, le quartz des résidus moindres, et qu'enfin le spath d'Islande n'en montre pas la moindre trace. Cette théorie a été un peu oubliée, ou englobée dans la considération générale des déformations résiduelles, mais il faut reconnaître qu'elle était fort séduisante.

Les travaux ultérieurs de Rowland furent consacrés surtout à des questions de métrologie, indépendantes de toute idée théorique. Sa détermination de l'équivalent mécanique est restée classique; c'est en déterminant directement l'équivalent à des températures diverses qu'il indiqua, pour la première fois, l'existence d'un minimum de la chaleur spécifique de l'eau. En corrigeant récemment les mesures de températures faites par Rowland par une comparaison de ses thermomètres avec des étalons étudiés au Bureau international, MM. Ames et Day ont pu réduire ses mesures à l'échelle normale. La valeur de l'équivalent ainsi corrigée présente une concordance remarquable avec celle que l'on déduit des procédés électriques; d'où l'on conclut que les unités sur lesquelles reposent ces diverses déterminations sont aujourd'hui bien connues dans leur ensemble.

En vue de la Conférence des Électriciens, de 1884, Rowland fit, en collaboration avec M. Kimball, une détermination de l'ohm qui donna un des résultats les plus voisins de la moyenne définitivement admise. Enfin, dans les dernières années de sa vie, il consacra les plus grands efforts à des travaux de spectroscopie, pour l'exécution desquels il commença par confectionner les réseaux de diffraction de beaucoup les plus beaux qui aient jamais été faits. Il construisit, dans ce but, une machine d'une grande perfection, étudia avec soin l'alliage des réseaux, se plaça dans les conditions de travail les plus favorables, et dota finalement la Physique d'un merveilleux outil. La plupart des travaux de spectrométrie de ces dernières années ont été effectués avec des réseaux Rowland. Si même aujourd'hui l'on arrive à des résultats plus sûrs par des interférences entre surfaces planes, au moins lorsqu'il s'agit de la mesure précise de raies fines, il ne faut pas oublier que le procédé du réseau permet d'aborder de tout autres problèmes; d'ailleurs, les repères déterminés par les méthodes de M. Michelson permettent de tarer les réseaux et d'augmenter ainsi la précision dans la détermination de leurs constantes.

Rowland fut le premier à employer ses réseaux et publia, en 1893, une table des longueurs d'onde des principales raies, table reproduite par M. Dufet, premier fascicule des *Données numériques,* publié sous les auspices de la Société et qui constitue un document de référence de premier ordre pour les spectroscopistes.

La première éducation de Rowland avait été celle d'un ingénieur, et il avait transporté, dans ses travaux de Physique, le sens pratique et la hardiesse d'exécution apprise de ses premières occupations. En moins de trente années d'un labeur acharné, il a abordé avec le même succès les problèmes les plus divers, les a résolus toujours par des méthodes élégantes et a été, en même temps qu'un physicien profond, un des plus parfaits métrologistes de notre époque.

M. H. Morize rappelle que, dans sa thèse, publiée en 1898 à Rio de Janeiro, et écrite en langue portugaise, il a décrit, mais non réalisé, une méthode pour la mesure de la vitesse des rayons de Röntgen.

Un même flux de rayons X provoquerait successivement la décharge de deux micromètres chargés situés sur son parcours et séparés par une

distance connue. On évaluerait au miroir tournant l'intervalle de temps séparant les deux étincelles, et l'on en déduirait la vitesse des rayons actifs.

M. Morize propose aujourd'hui une autre méthode. Une fente fixe serait éclairée par une source de rayons X. Assez loin devant cette fente, un système de deux disques portés par un même axe horizontal peut être mis en rotation rapide. Ces disques sont munis de fentes qui, successivement, viennent se mettre deux par deux en ligne droite avec la fente fixe. Si le disque tourne très lentement, c'est dans cette position qu'un écran fluorescent placé derrière le dernier disque peut s'illuminer. Quand les disques tournent très vite, et si les rayons X se propagent avec une vitesse finie, l'illumination de l'écran doit se déplacer, dans le sens du mouvement, d'une quantité dont la mesure fera connaître la vitesse des rayons X.

M. L. Benoist fait observer qu'il a établi et présenté à M. Lippmann, en mars 1898, en vue d'une réalisation ultérieure, un projet de mesure de la vitesse des rayons X, complètement étudié et fondé précisément sur la méthode et la disposition expérimentale que propose en dernier lieu M. Morize.

M. V. Crémieu informe la Société de Physique qu'il croit avoir pu réaliser expérimentalement des courants ouverts.

L'existence de ces courants serait la conséquence directe des résultats obtenus par l'auteur sur la non-existence de l'effet magnétique de la convection électrique.

Le principe de l'expérience est le suivant :

Un disque d'ébonite a été doré suivant des secteurs radiaux isolés les uns des autres. Ces secteurs se chargent par influence en face d'un inducteur fixe en touchant un premier balai métallique; ils viennent ensuite se décharger sur un balai relié au premier par un fil conducteur.

On constate alors que la partie *convection* du circuit ainsi constitué ne produit aucun effet magnétique, tandis que la partie *conduction* en produit un très notable.

L'intensité mesurée des courants réalisés est de l'ordre de 10^{-4} ampère.

L'expérience est trop délicate pour pouvoir être reproduite en public; mais l'auteur, désireux de la soumettre aux critiques de toutes les personnes compétentes, se tient à leur disposition au laboratoire des recherches physiques, à la Sorbonne.

Poids moléculaires et formules de constitution, par M. Lespieau. — La question des poids moléculaires étant généralement abordée par ses côtés physiques, M. Lespieau demande à la Société la permission d'envisager rapidement le côté chimique. Il rappelle d'abord comment on peut arriver aux nombres actuellement en usage, soit en admettant l'existence des atomes et l'hypothèse d'Avogadro, soit en partant de l'existence de nombres proportionnels et en fixant le choix de ces nombres par la condition de correspondre à des volumes de vapeur égaux. Il expose que cette manière de procéder peut paraître supérieure à la première parce qu'elle est exempte d'hypothèse, mais qu'en réalité elle est obligée d'admettre dans les combinaisons chimiques une simplicité qui ne s'y rencontre pas. Il cite de nombreux exemples à l'appui de son dire. Il existe, par exemple, des carbures C^3H^{12} et $C^{28}H^{26}$. Le rapport des poids d'hydrogène qui se combinent ici à un même poids de carbone est égal à $\frac{12 \times 14}{13^2}$; d'autre part, si l'on appelle v le volume de 12 de carbone,

celui de 1 d'hydrogène étant pris pour unité, le rapport du volume du carbone à celui de l'hydrogène auquel il se combine est v dans C^2H^2 et $\frac{v\,35}{72}$ dans $C^{35}H^{72}$. On n'oserait pas citer de tels exemples après avoir énoncé les lois de Dalton et de Gay-Lussac comme on les énonce d'habitude. Pour mettre ces lois en accord avec les faits actuellement connus, il faudrait remplacer les rapports simples par des rapports commensurables. Mais l'analyse devient impuissante à confirmer de telles lois, et l'hypothèse que l'on fait se confond pratiquement avec celle des atomes.

D'ailleurs, comme l'ont dit Gerhardt, Wurtz et bien d'autres, les formules des corps sont faites pour rappeler les réactions de ces corps. Elles ne doivent être que des équations de réactions contractées (Gerhardt). M. Lespieau essaye d'établir que l'étude des réactions d'un corps permet à elle seule de lui donner une formule développée sans hypothèse d'Avogadro et sans notion de valence. Il rappelle que les chimistes n'hésitaient point à sacrifier l'hypothèse d'Avogadro quand elle semblait en contradiction avec les formules déduites des propriétés chimiques; il cite les travaux de Willamson sur l'éther, de Wurtz sur les radicaux hydrocarbonés, comme ayant établi par une voie chimique les formules de ces composés. Il se résume en disant que la recherche du poids moléculaire d'un corps et celle de sa formule développée sont deux problèmes inséparables.

L'idée d'Avogadro devient dans cette conception une loi expérimentale au même titre que la loi de Raoult. Il semble d'ailleurs à M. Lespieau que cet accord entre les propriétés chimiques et les propriétés physiques plaide singulièrement en faveur de l'hypothèse atomique.

Électrisation négative des rayons secondaires dérivés des rayons X, par MM. P. Curie et G. Sagnac. — Tandis que les rayons X ne se montrent pas électrisés, les rayons secondaires qu'excitent les rayons X en frappant le zinc, l'étain et surtout le platine ou le plomb nous ont fourni des flux d'électricité négative de l'ordre 10^{-10} ampère; les rayons secondaires de l'aluminium ne semblent pas électrisés, et l'on sait qu'ils ne diffèrent pas notablement des rayons X qui les excitent, tandis que les rayons secondaires du zinc, de l'étain et surtout du platine ou du plomb sont beaucoup plus absorbables que les rayons X générateurs dont ils sont une transformation [1].

L'émission électrique du plomb, par exemple, est aussi absorbable que l'émission cathodique produite par la décharge dans le vide et étudiée par P. Lenard. Aussi est-elle difficile à observer quand le métal rayonnant est entouré d'un diélectrique solide (paraffine). Nous l'avons étudiée surtout en plaçant une lame L du métal rayonnant (platine, par exemple) à quelques millimètres seulement des parois d'une boîte métallique B dans laquelle nous raréfions l'air jusqu'au vide de Crookes ($\frac{1}{1000}$ de millimètre de mercure), de manière à lui rendre suffisamment ses propriétés isolantes malgré l'action des rayons X et des rayons secondaires qui le traversent. Un tube focus placé à quelques centimètres seulement de la

[1] Le professeur Dorn a constaté que les rayons secondaires du platine, du plomb renferment des rayons déviables par l'aimant et d'autres rayons non déviables; ceux-ci existent seuls dans le faisceau secondaire de l'aluminium. L'un de nous avait antérieurement émis l'hypothèse que les rayons secondaires issus de la transformation des rayons X pour les métaux tels que le platine, le plomb pouvaient bien renfermer des rayons déviables par l'aimant (G. Sagnac, *L'éclairage électrique* du 12 mars 1898 · *Rayons* X, *rayons secondaires et rayons Lenard*).

lame L lui envoyait des rayons X sur une surface d'environ 30^{cq}, à travers des fenêtres fermées par de l'aluminium. L'intérieur de la boîte B était tapissé d'aluminium. La lame L (platine, par exemple), isolée des parois, communiquait avec l'aiguille d'un électromètre et avec un quartz piézoélectrique; on pouvait ainsi mesurer le flux électrique des rayons secondaires par la méthode d'opposition de M. Curie. On compensait d'ailleurs l'effet dû à la force électromotrice entre le métal L et celui des parois de la boîte B (platine-aluminium, par exemple), effet qui, dans le vide de Crookes, n'est plus que la centième partie environ du courant étudié. Dans les conditions indiquées, le platine, perdant les charges négatives emportées par les rayons secondaires, se chargeait de la quantité complémentaire d'électricité positive. On renversait le phénomène et l'on recueillait l'électricité négative envoyée par les rayons secondaires en formant la lame intérieure L d'aluminium et plaçant une mince feuille de platine sur les fenêtres de la boîte B.

L'existence de rayons secondaires électrisés formant un faisceau déviable mélangé à des rayons non déviables est en accord avec l'analogie des rayons secondaires et des rayons spontanés des corps radioactifs signalée par Mme Curie. Elle s'accorde aussi avec l'analogie des rayons X et des rayons ultraviolets : le professeur A. Righi et le professeur P. Lenard ont, en effet, montré que les rayons ultraviolets peuvent, en frappant des métaux (électrisés ou non), provoquer une émission de rayons cathodiques particuliers.

M. Guillaume présente, à la demande de M. le Dr Berger, un appareil désigné par lui sous le nom de *plastiscope*, et qui permet, grâce à une illusion d'optique, de donner, dans certains cas, une impression assez nette de relief avec une seule image. Une loupe binoculaire est complétée par un système divergent tel que la mise au point sur les bords du champ soit plus éloignée qu'au centre. De cette façon, la partie centrale et les parties périphériques ne sont pas au point en même temps; et si, comme cela arrive souvent, le sujet central et principal du dessin est en avant du reste, il apparaît effectivement avec un faible relief attribuable uniquement à la mise au point.

SÉANCE DU 17 MAI 1901.

PRÉSIDENCE DE M. H. PELLAT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 3 mai est lu et adopté.

A propos de la récente Note de M. Morize, *Sur des méthodes propres à déterminer la vitesse des rayons X*, M. Bernard Brunhes fait remarquer que ces méthodes ne sauraient permettre de mesurer que des vitesses de beaucoup inférieures à la vitesse de la lumière.

Sur une pile électrique à dépolarisant spontanément régénérable par réoxydation directe à l'air; par M. Georges Rosset. — Le dépola-

risant de cette pile, réduit par l'hydrogène de dépolarisation, vient se réoxyder à l'air par la surface de la pile, pendant son fonctionnement même et sans nécessiter aucune manipulation: ce dépolarisant, qui se régénère ainsi spontanément par réoxydation directe à l'air, est donc inusable. Il est constitué par du cuprate d'ammonium, qui, réduit dans la pile, devient du cuprite; celui-ci, à l'air, est ramené à l'état de cuprate, et le dépolarisant se trouve ainsi spontanément régénéré. Il est intéressant de noter que le cuprite lui-même est un oxydant, et peut dépolariser au besoin en déposant sur le pôle positif (charbon) du cuivre métallique très bon conducteur : lors d'un repos, ce cuivre se redissout et reforme finalement le cuprate primitif. La solution excitatrice, étant à base de chlorure d'ammonium, fournit de l'ammoniaque au pôle positif pendant le fonctionnement, ce qui compense les pertes inévitables du dépolarisant en ammoniaque. La diffusion du dépolarisant est évitée par l'emploi d'une membrane colloïdale semi-perméable de ferrocyanure de cuivre obtenue par voie de précipitation chimique dans l'épaisseur de la cloison poreuse. Grâce à l'ammoniaque libre du dépolarisant, dans laquelle le ferrocyanure de cuivre est soluble, cette membrane, toujours récemment reprécipitée, se trouve entretenue à l'état colloïdal et reste ainsi semi-perméable.

D'après les essais officiels du Laboratoire central d'Électricité, faits en décharge continue sur 10 ohms, la variation dans l'intensité est de moins de un milliampère par 24 heures, pendant un mois qu'a duré l'essai. Cette variation est d'ailleurs très continue. La constance de cette pile est donc remarquable. L'usure du zinc est extrêmement régulière : le crayon de zinc devient un véritable fil. Le renouvellement du zinc et de la solution excitatrice rend à la pile son énergie première: la courbe reprend la même allure, un milliampère au-dessous de la première. Ce fait démontre l'inusabilité du dépolarisant.

En bouchant le trou de respiration du dépolarisant, la force électromotrice et le débit baissent plus rapidement que d'ordinaire, et remontent quand on donne de nouveau accès à l'air.

On remarquera que les deux états d'oxydation, cuprate et cuprite, sont obtenus dissous, condition indispensable à ces réactions successives de réduction et de réoxydation à l'air; que ces deux états sont de puissants oxydants presque équivalents ; que les produits de la réduction, même jusqu'à l'état métallique, reviennent toujours à l'air à leur état primitif de maximum d'oxydation; que la solution excitatrice peut compenser au fur et à mesure les pertes inévitables du dépolarisant en ammoniaque; qu'enfin la composition même du dépolarisant permet d'entretenir la membrane semi-perméable qui doit en éviter la diffusion à l'état colloïdal convenable. Il y a là un concours de circonstances qui font du cuprate d'ammonium une solution particulièrement heureuse de ce problème si intéressant: dépolariser par l'oxygène de l'air, au moyen d'un intermédiaire chimique, et constituer par suite un dépolarisant inusable.

Sur un nouveau galvanomètre parfaitement astatique, par M. G. Lippmann. — Au lieu d'employer deux aiguilles aimantées *astatisées* l'une par l'autre, M. Lippmann n'emploie qu'une seule aiguille *ab* demeurant invariablement dans le plan du méridien magnétique. Le courant à mesurer passe dans deux bobines d'axe commun *ab* qui entourent respectivement les pôles *a* et *b* de l'aiguille aimantée et agissent dans le même sens, l'une repoussant, l'autre attirant l'aiguille. Un fil de cocon porte l'aiguille *ab*; il est attaché au levier d'une balance de torsion. Au moyen du tambour torseur de cette balance, on a réglé l'axe de la balance perpendiculaire à l'axe de l'aiguille *ab*. Quand le courant agit, l'aiguille *ab* se déplace parallèlement à elle-même et la Terre ne tend pas à déplacer

l'aiguille ; la seule force directrice est celle de la torsion de la balance ([1]). Malgré l'emploi d'un fil de cocon, le modèle présenté par M. Lippmann est très maniable. La durée d'oscillation est d'environ une minute et l'amortissement est complet après trois oscillations. La sensibilité est proportionnelle à la longueur du bras de levier de la balance de torsion. Il faut prendre une aiguille fortement aimantée et pas trop légère. La sensibilité paraît comparable à celle d'un galvanomètre Thomson. L'amortissement devient très grand quand le galvanomètre est fermé sur lui-même. L'appareil, facile à construire, est d'un emploi commode : l'orientation de l'aiguille aimantée est bien fixe, tandis que les systèmes qui sont seulement astatiques *par compensation* ont une orientation essentiellement variable.

M. Pellat dit que cette variation du zéro s'observe, en effet, fréquemment avec les galvanomètres Thomson à aimant directeur.

M. Broca dit qu'avec le système à deux aiguilles verticales de M. P. Weiss, formant un circuit magnétique complètement fermé, on a un zéro très fixe. Il rappelle les excellents résultats qu'il a obtenus au moyen d'un équipage à points conséquents ; l'avantage sur le galvanomètre de M. Lippmann est que ces équipages sont insensibles à l'action d'un champ uniforme et même encore à l'action d'un changement uniformément varié du champ.

Sur les réseaux obtenus par la photographie de franges d'interférence. — A propos de la communication de M. A. Cotton, du 13 avril, M. Lippmann annonce la propriété suivante que devront posséder les réseaux obtenus par M. Cotton : Si la lumière employée pour produire les franges renferme deux longueurs d'onde différentes, λ et λ', le réseau obtenu par la photographie de ces franges sera capable de dévier, dans la même direction, les lumières de longueur d'onde λ et λ'. Si la lumière productrice des franges est blanche, le réseau enverra dans une même direction toutes les couleurs de cette lumière et par conséquent constituera un *réseau achromatique*.

M. Cotton indique qu'il n'a fait jusqu'ici d'expériences qu'avec la raie indigo du mercure, employée seule. Mais il avait, lui aussi, examiné le cas où les photographies seraient faites avec plusieurs radiations superposées, et remarqué la réversibilité que M. Lippmann vient de signaler.

Lorsque le réseau complexe obtenu avec une lumière colorée formée de plusieurs radiations simples est éclairé par un faisceau parallèle de lumière *blanche,* il y a encore une direction privilégiée où les radiations primitives ont leurs maxima superposés. En isolant (lentille et fente) les rayons diffractés dans cette direction, on peut théoriquement reproduire la couleur de la lumière qui avait servi à faire la photographie. Mais il faut que les maxima soient suffisamment intenses et conservent leurs intensités relatives. Il faut donc que l'action photographique et l'intensité de la lumière incidente aient entre elles une relation telle que chaque réseau élémentaire ne donne qu'un spectre.

([1]) M. Lippmann montre que son galvanomètre est nettement différent de ceux qui sont dus à A.-C. Becquerel. La balance électromagnétique de A.-C. Becquerel est environ 10 000 fois moins sensible que le galvanomètre astatique de M. Lippmann.

M. Cotton reviendra sur ces questions et présentera à la Société des réseaux qu'il obtient avec les ondes stationnaires.

Sur les fausses raies spectrales des réseaux. — M. Guillaume signale un Mémoire de M. Lyman (*Physical Review*, janvier 1901), dans lequel l'auteur étudie l'apparition de fausses raies spectrales dans les spectres des réseaux de Rowland et les explique par l'influence des inégalités périodiques des intervalles des réseaux.

M. A. Cornu signale les diverses erreurs que comporte l'emploi des réseaux. Il rappelle comment on peut reconnaître les inégalités périodiques par sa *méthode du moiré*, en superposant presque parallèlement deux réseaux transparents obtenus avec la même machine à diviser, ou, d'une manière plus générale, deux copies transparentes d'un même réseau obtenues par la méthode de M. Izarn. Quand on trace un réseau, il faut rendre très constante la tension du système qui relie la machine à diviser au moteur; pour cela, il convient de produire la tension à l'aide de poulies et de poids tenseurs.

Une expérience très simple pour juger des défauts d'un réseau consiste à observer la lueur que le réseau diffracte entre le premier spectre et l'image de la fente éclairante. Dans un spectroscope à vision directe, sur la fente duquel on fait tomber la lueur précédente, on aperçoit plusieurs raies. Le réseau superpose ainsi au spectre régulier une foule de spectres tenant aux inégalités périodiques de la vis.

D'une manière générale, l'emploi d'un spectroscope par réfraction est un contrôle nécessaire des observations des spectres de réseaux, outre qu'il fournit une dispersion particulièrement grande dans l'ultraviolet.

Sur un cas remarquable de vitesse de cristallisation, par M. D. Korda. — En une fraction de minute seulement, M. D. Korda a fait cristalliser, par refroidissement dans l'eau, des culots de ferrosilicium. La forme des cristaux varie avec la proportion de silicium : longues aiguilles pour 10 pour 100 de silicium (formule Fe^2Si); — tétraèdres de 1 à 10^{mm} de côté pour 22 à 23 pour 100 de silicium (formule FeSi); — lames d'aspect micacé pour 50 pour 100 de silicium (formule $FeSi^2$). Des cristaux jaunes de ferromanganèse, ou argentés de ferrochrome, se forment d'une manière aussi rapide dans des conditions analogues.

SÉANCE DU 7 JUIN 1901.

Présidence de M. H. Pellat.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 17 mai est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Doumer (Dr), Professeur de Physique biologique à la Faculté de Médecine de Lille.
Rosset (Georges), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris.

M. SILVIO LUSSANA, Professeur à l'Université de Sienne, adresse une Note rappelant ses expériences de 1896 sur la vitesse de propagation des rayons Röntgen.

M. Henri MORIZE, Professeur à l'Ecole Polytechnique de Rio de Janeiro, adresse une Note sur la durée d'émission des rayons de Röntgen.

Sur un galvanomètre électrodynamomètre-électromètre absolu; par M. CRÉMIEU. — L'appareil de M. V. CRÉMIEU repose sur le même principe que celui présenté par M. Lippmann, dans la séance du 17 mai; il est une modification de la balance électromagnétique de M. A.-C. Becquerel (¹). Aux extrémités d'un fléau léger en aluminium sont suspendus deux aimants cylindriques de 6^{cm} de longueur et de 2^{mm} de diamètre; chacun des aimants pénètre dans l'âme cylindrique d'une bobine, avec 30000 tours de fils. Le fléau repose sur une petite lame en aluminium qui est supportée par un fil de cocon non tendu; et c'est à cause de ce mode de suspension qu'on obtient une sensibilité considérable; la balance accuse, en effet, le cent-millième de milligramme, et le galvanomètre fournit une sensibilité de $3,7 \times 10^8$ (Kohlrausch).

En remplaçant les aimants par des bobines de mêmes dimensions, on réalise un électrodynamomètre.

En remplaçant l'un des aimants par un plateau circulaire placé dans un anneau de garde au-dessus d'un plateau fixe et disposant l'autre aimant de façon que l'action électromagnétique soit répulsive, on réalise les conditions de l'électromètre absolu de lord Kelvin. En plus des avantages d'une grande sensibilité, ce dispositif présente ceux d'un bon amortissement.

Sur une expérience d'oscillation électrique, par M. H. PELLAT. — M. Pellat présente une expérience dont le résultat paraît paradoxal au premier abord, mais qui s'explique très facilement par les oscillations électriques.

Deux condensateurs de capacité très inégale (une batterie de six grandes jarres et une petite bouteille de Leyde, par exemple) ont leurs armatures respectivement en communication par un inverseur qui permet d'alterner les communications. Celui-ci est monté sur colonnes d'ébonite de façon à pouvoir opérer avec des potentiels élevés. Toutes les armatures des condensateurs, ou trois d'entre elles, au moins, sont isolées. Deux tiges de décharges sont placées près du petit condensateur et permettent à l'étincelle d'éclater quand la différence de potentiel des armatures devient suffisante.

Si l'on vient à charger les condensateurs de façon à leur donner la moitié seulement de la charge nécessaire à la production de l'étincelle, ou même un peu moins, et qu'on vienne ensuite à intervertir les communications des armatures en faisant jouer l'inverseur, l'étincelle éclate entre les tiges de décharges.

Or, on peut remarquer que, si l'étincelle n'éclatait pas, après l'inversion et l'état d'équilibre atteint, la différence de potentiel des armatures aurait diminué, puisque l'inversion fait communiquer l'armature positive de l'un des condensateurs avec l'armature négative de l'autre et *vice versa*. Malgré cela, la différence de potentiel des armatures du petit condensateur a plus que doublé à un certain moment, par suite des oscillations électriques, puisque l'étincelle éclate.

(¹) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, t. XXIII, p. 338; 1850.

La théorie classique des oscillations électriques rend compte parfaitement de toutes les particularités du phénomène. Les calculs, qui seront publiés dans le *Bulletin* de la Société, sont plus compliqués que dans la décharge d'un condensateur, mais n'offrent pas de difficultés. On les abrège en négligeant des quantités très petites qui ne donneraient que des termes inobservables dans l'expérience.

On trouve ainsi pour la différence de potentiel maximum V_m pendant l'oscillation, en appelant V_o la différence du potentiel avant l'inversion et C et c les capacités du grand et du petit condensateur, la relation très simple

$$(1) \qquad V_m = V_o \frac{3C - c}{C + c}.$$

La différence de potentiel maximum W_m entre deux points du circuit tels que, en passant de l'un à l'autre par le petit condensateur, le coefficient de self-induction soit L', en appelant L le coefficient de self-induction de tout le circuit, est donnée par

$$(2) \qquad \frac{W_m}{V_o} = \frac{C - c}{C + c} + \frac{2C}{C + c}\left(1 - \frac{L'}{L}\frac{C + c}{C}\right).$$

Sur les deux fils parallèles qui réunissent les armatures, il y a un nœud, c'est-à-dire qu'entre deux points particuliers se faisant face la différence de potentiel reste constante pendant l'oscillation, ses variations étant de sens inverse au même moment de part et d'autre du nœud. On a pour la position de celui-ci

$$(3) \qquad \frac{L'}{L} = \frac{C}{C + c}.$$

Le rapport des coefficients de self-induction L' et L étant sensiblement le même que celui des distances au petit condensateur du nœud et du grand condensateur, on voit que, si les capacités sont égales, le nœud est au milieu, mais qu'il est plus près du grand condensateur si les capacités sont inégales.

La relation (1) montre que la différence de potentiel maximum entre les armatures du petit condensateur tend vers trois fois la différence de potentiel initiale, quand le rapport des deux capacités tend vers zéro.

M. Pellat a vérifié expérimentalement l'exactitude de la relation (1).

Les différences de potentiel étaient mesurées par un électromètre de MM. Bichat et Blondlot; on déterminait la différence de potentiel nécessaire pour avoir la décharge sans inversion, puis la plus petite des différences qui amenaient l'explosion après inversion. Les tiges de décharges étaient placées aussi près que possible des armatures du petit condensateur, de façon à avoir sensiblement l'explosion correspondant à la différence de potentiel de celui-ci. Il a trouvé ainsi pour le rapport $\frac{V_m}{V_o}$ le nombre 2,4 comme moyenne des expériences, tandis que la relation (1) donnait, d'après la connaissance des capacités, le nombre 2,8. La concordance paraîtra très satisfaisante, si l'on songe aux irrégularités des expériences où l'on mesure une différence de potentiel explosive.

La connaissance de ce phénomène n'est pas sans intérêt pratique, car on voit que l'inversion des communications peut amener la rupture de l'isolant du petit condensateur, ou produire des différences de potentiel dangereuses. En outre, cette expérience, facile à répéter dans un Cours,

est très propre à montrer la profonde différence qui existe entre les effets de l'électricité au repos et ceux de l'électricité en mouvement.

Sur une propriété des gaz monoatomiques, par M. DANIEL BERTHELOT. — Clausius a conclu de considérations cinétiques que le rapport des chaleurs spécifiques d'un gaz parfait est égal à 1,67. Cette conclusion ne parut pas d'abord conforme à l'expérience; mais on a expliqué le désaccord en remarquant que la théorie de Clausius assimilait les molécules à des points matériels et négligeait l'énergie correspondant aux mouvements des atomes dans la molécule, ce qui n'est permis que pour les gaz à molécule monoatomique. Et, en effet, pour la vapeur de mercure, qui est dans ce cas, d'après les chimistes, l'expérience donne exactement le rapport de Clausius. MM. Rayleigh et Ramsay, ayant retrouvé ce même rapport pour l'argon, en ont conclu qu'il est monoatomique.

D'autre part, en s'appuyant également sur des hypothèses cinétiques, M. Van der Waals a établi pour l'ensemble de l'état fluide l'équation $(p + a : v^2)(v - b) = RT$. Cette formule, tout en représentant bien les faits au point de vue qualitatif, n'offre avec eux qu'un accord quantitatif imparfait. Ainsi l'équation indique que l'expression $RT_c : p_c v_c$, qui représente le rapport du volume théorique du fluide à son volume réel au point critique, est égale à 2,67. Voici les valeurs trouvées pour quelques corps:

Octane	Heptane	Éther	Pentane	Benzène	CH^4	CO^2	Az^2	O^2
3,86	3,85	3,81	3,76	3,75	3,67	3,61	3,53	3,49

On voit que ce rapport décroît en général avec le nombre des atomes de la molécule. Il était donc particulièrement intéressant de chercher la valeur qu'il a pour les gaz monoatomiques. Il n'en est qu'un dont les constantes sont assez bien déterminées pour essayer la vérification, c'est l'argon. D'après les dernières mesures de MM. Ramsay et Travers, $p_c = 52^{atm},8$, $T_c = 155°,6$ abs. et la densité liquide $d = 1,212$ à 87° abs.

En appliquant la formule de M. Mathias $d_c = d : 2[1 + 0,9(1 - T : T_c)]$ on en tire

$$d_c = 0,434,$$

on trouve alors

$$(RT_c : p_c v_c) = 2,62,$$

valeur qui s'écarte beaucoup de celle de tous les gaz polyatomiques, mais qui est très voisine de celle qu'indique la formule de Van der Waals.

Il semble donc que cette formule figure exactement la compressibilité isotherme d'un gaz monoatomique, et que, conformément au point de vue auquel M. Van der Waals a été amené par d'autres considérations et qu'il a développé tout récemment dans un Mémoire important les modifications à y introduire dans le cas des gaz polyatomiques doivent être cherchées dans l'influence du nombre et des mouvements des atomes de la molécule sur la grandeur du covolume b.

A la suite d'une remarque de M. WYROUBOFF, M. BERTHELOT observe qu'il existe un grand nombre de propriétés physiques et chimiques pour lesquelles l'écart entre le premier et le second terme d'une série de composés homologues surpasse de beaucoup les écarts qu'on rencontre entre les termes suivants. Le point essentiel à noter dans l'exemple actuel est la concordance entre le calcul et l'observation pour le premier terme de la série.

M. CORNU fait remarquer l'allure asymptotique des nombres inscrits par M. Berthelot, et s'appliquant à des molécules de plus en plus complexes.

SÉANCE DU 21 JUIN 1901.

PRÉSIDENCE DE M. H. PELLAT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 7 juin est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. DELMAS (Léon-Théodore), Licencié ès Sciences, à Montauban.
SEMENOFF, à Paris.

M. le PRÉSIDENT annonce la perte douloureuse que la Société vient de faire en la personne de M. YVES DE KÉRANGUÉ, capitaine en retraite, à Kernoule près Paimpol (Côtes-du-Nord).

Réseaux moléculaires et dispersion; par M. CARVALLO. — M. Carvallo développe une théorie de la dispersion des couleurs exposée vers 1860 par de Sénarmont, et reprise par M. Ricour, au Congrès de 1900. L'hypothèse est la périodicité de l'éther identique à celle du réseau moléculaire ; la méthode est celle des différences finies; le résultat est une formule à deux constantes seulement, très semblable à celle de Baden-Powell, savoir :

$$(1) \qquad \lambda \sin h \frac{n}{\lambda} = k \quad \begin{cases} \lambda, \text{ longueur d'onde dans le vide,} \\ n, \text{ indice de réfraction,} \\ h, k, \text{ constantes } \left(\frac{h}{\pi} \text{ période moléculaire}\right). \end{cases}$$

M. Ricour a obtenu une vérification assez satisfaisante de cette formule avec les déterminations de M. Mascart sur le quartz, de la raie A ($\lambda = 760^{\mu\mu}$) à la raie P ($\lambda = 336^{\mu\mu}$). En adoptant pour la période moléculaire $\frac{h}{\pi} = 25^{\mu\mu},233$, il trouve pour $\lambda \sin \frac{hn}{\lambda}$ un nombre assez constant dont le logarithme varie seulement de 2,0845 à 2,0847.

M. Carvallo étend la comparaison de la formule à ses déterminations sur l'infrarouge et à celles de M. Sarazin sur l'ultraviolet ($\lambda = 2171^{\mu\mu}$ à $202^{\mu\mu}$). Il trouve une variation tout à fait inadmissible de la prétendue constante, savoir 2,0802 à 2,0850.

M. Carvallo montre ensuite que l'écart n'est certainement pas dû à un choix défectueux des constantes par l'artifice suivant : il construit la courbe qui a pour coordonnées $\log \frac{1}{\lambda}$ et $\log n$. D'après la formule (1), elle devrait être superposable à la courbe type dont les coordonnées sont $\log \sin x$ et $\log \frac{x}{\sin x}$, et cela par deux translations suivant les deux axes. Ces

translations, égales à $\log k$ et $\log \frac{h}{k}$, feraient connaître les deux constantes h et k. Tandis que la courbe type est concave vers le haut dans toute son étendue, la courbe du quartz est concave vers le bas pour les grandes longueurs d'onde. La superposition est donc impossible et la théorie doit être rejetée.

Les deux courbes sont projetées devant la Société, à l'aide de deux clichés, dont l'un est fixe et l'autre mobile pour montrer la tentative infructueuse de superposition.

J. DE REY-PAILHADE. — *La décimalisation du quart de cercle.* — On emploie actuellement deux systèmes de notation des grandeurs angulaires :

1° Celle des degrés, minutes et secondes d'arc, datant des Chaldéens, en usage dans la marine, avec le *nœud* ou *mille* qui correspond à la minute d'arc de méridien terrestre.

2° Celle de la division du quart de cercle en 100 grades, suivie depuis plus d'un demi-siècle par le Service géographique de l'armée française. Le *centigrade-arc* correspond au kilomètre au niveau moyen des mers.

Le second système étant plus avantageux que celui des degrés, M. de Rey-Pailhade propose d'inscrire dans les deux systèmes les valeurs angulaires, par exemple :

$$19^{\circ}\,17'\,25''\ (21^{G},43'\,36'').$$

Par ce procédé très simple, le *Bulletin de la Société française de Physique* fera connaître et apprécier les avantages du système décimal et préparera insensiblement les esprits à la réforme proposée par les auteurs du système métrique.

M. le PRÉSIDENT dit qu'on emploie déjà les dixièmes et centièmes de degré pour simplifier les calculs; il est encore plus rationnel d'employer les grades. Mais s'il est tout à fait partisan de la *décimalisation des angles*, il tient à faire toutes ses réserves au sujet de la *décimalisation du temps.*

M. DESLANDRES dit que ces deux questions sont connexes en Astronomie, de sorte qu'il faudrait faire les deux réformes en même temps.

M. le PRÉSIDENT répond à cela que si l'on touche à la seconde, on doit modifier les unités du système C. G. S. quelques années seulement après qu'une loi a sanctionné en France l'usage des unités pratiques dérivées de ce système.

M. DE REY-PAILHADE tient, pour faciliter le succès des deux réformes, à ne faire d'abord que celle des unités angulaires. Il n'est pas de l'avis de M. Deslandres en ce qui concerne la connexion des deux réformes : ce n'est pas le temps, ce sont les angles qui jouent le rôle le plus important en marine; c'est ce qu'a montré le commandant GUYOU en faisant construire des « tropomètres », appareils qui déterminent la position du Soleil sans faire intervenir le temps.

M. DESLANDRES rappelle qu'il a proposé, il y a quelques années, de conserver l'heure, unité à laquelle trop de personnes sont accoutumées, et de

la diviser décimalement; la circonférence serait divisée en 240 parties, de sorte que, par exemple, on aurait l'heure d'un lieu sur la carte à la seule inspection du lieu. La modification du système C. G. S. ne serait contre cette réforme que l'argument des seuls physiciens et ingénieurs, c'est-à-dire d'une minorité.

M. Lauriol fait remarquer que l'emploi pratique simultané de l'heure et de la seconde introduit à chaque instant les facteurs 60 et 3600, dont il serait commode de se débarrasser. Ce serait encore un avantage de la réforme proposée par M. Deslandres.

M. de Rey-Pailhade ajoute que la centième partie du jour serait voisine de notre quart d'heure, de même que le centième de grade du méridien terrestre vaut 1^{km}.

M. Deslandres dit que le Congrès récent des Académies s'est déjà occupé de la question actuelle et que l'on doit s'attendre à ce qu'un Congrès international la résolve.

Expériences avec le biprisme et avec les glaces argentées de Jamin, par M. G. Sagnac.

I. — *Franges dues à la lumière réfléchie sur la face plane d'un biprisme de Fresnel.* — Tandis que, par transmission (expérience classique de Fresnel), le biprisme donne un système unique de franges, dans les mêmes conditions il peut, par réflexion, donner deux systèmes de franges analogues à celles de Fresnel, et même un troisième système dû à l'interférence des deux premiers. La projection de ces franges est faite devant la Société en utilisant un biprisme dont la face plane a été argentée pour augmenter l'intensité des faisceaux interférents, qui sont tous les trois réfléchis par cette face, savoir : le faisceau entré par la face verre d'une moitié P_1 du biprisme et ressorti par la même face; le faisceau réfléchi de même par l'autre moitié P_2 du biprisme; enfin le faisceau entré par la face verre de P_1 et ressorti par la face verre de P_2; l'origine du troisième faisceau entraîne ce fait que, dans les biprismes peu épais ordinairement employés, la région voisine de l'arête sur P_1 et sur P_2 est la seule qui serve à la production des franges. Les colorations et les conditions d'achromatisme du troisième système de franges sont particulièrement intéressantes.

II. — *Réglage du réfractomètre interférentiel de Jamin en lumière blanche.* — Tandis que par le réglage géométrique fondé sur la superposition des deux images de la source on est conduit à des tâtonnements souvent assez longs, on réussit très rapidement par la méthode suivante :
On observe les franges en lumière jaune du sodium. En faisant varier l'ordre de l'interférence au moyen de la vis V convenable, on observe les maximums et minimums de visibilité des franges dus à la constitution de la raie D, découverts et étudiés par Fizeau dans le phénomène des anneaux de Newton. Si, au lieu de s'entourer des précautions prises par Fizeau pour observer un grand nombre de périodes de visibilité, on prend, au contraire, une flamme très chaude et très chargée en sel marin, l'un des maximums de visibilité est beaucoup plus net que le précédent et que le suivant. On le dépasse nettement par le mouvement de la vis V, qu'on ramène ensuite en arrière pour regagner le temps perdu de cette vis. On remplace alors la lumière du sodium par la lumière blanche; il suffit de tourner len-

tement la vis V dans le même sens que la dernière fois pour voir apparaître les franges colorées presque aussitôt.

III. — *Expérience pour montrer, sans aucun réglage, des franges de même espèce que celles de Jamin.*

On applique deux glaces de Jamin l'une contre l'autre par leurs faces non argentées, de manière qu'elles se débordent mutuellement en AB et A'B' sur une fraction de leur longueur (un tiers, par exemple). La lumière peut ainsi entrer par l'extrémité AB de l'une et sortir par l'extrémité A'B' de l'autre. On peut observer des franges de même espèce que celles de Jamin en tenant les deux glaces à la main appliquées l'une contre l'autre, comme il a été dit, et regardant sous l'inclinaison convenable, par la face A'B', un fond lumineux uniforme. On peut aussi, à l'aide d'une lentille, les projeter sur un écran, en ayant soin d'arrêter, par un diaphragme, la lumière qui ne tombe pas sur AB (expérience faite devant la Société). On fait varier les positions des franges en pressant les deux glaces l'une contre l'autre, ou faisant légèrement pivoter l'une d'elles autour d'un de ses longs côtés maintenu appliqué sur la surface verre de l'autre glace. Tout cela se fait très facilement à la main. On peut dire que le réglage est *instantané.*

Si l'on veut donner aux glaces une inclinaison mutuelle toujours sensiblement la même, il suffit de les appliquer l'une contre l'autre en interposant entre elles, à leur base, une bande de papier d'épaisseur convenable.

Dans cette expérience, comme dans celle de Jamin, on peut voir plusieurs images. La plus avantageuse à observer est celle qui est fournie par les rayons ayant subi, dans une glace, une seule réflexion métallique, et, dans l'autre, deux réflexions métalliques séparées par une réflexion vitreuse.

A propos de la Communication de M. G. Sagnac, M. C. Raveau communique les observations suivantes sur le *Réglage des miroirs de Jamin :*

1° L'influence prépondérante qu'exercent les défauts des miroirs quand on s'approche du parallélisme peut mettre en défaut les méthodes théoriques de réglage. Ainsi il peut arriver que les franges en lumière blanche, regardées à l'œil nu, soient extrêmement pâles; c'est que la région où elles sont localisées est trop voisine de l'observateur. On les voit prendre de l'éclat, si l'on se recule. Les franges en lumière jaune sont également pâles dans les mêmes conditions, malgré la coïncidence des systèmes donnés par chacune des raies D.

Le réglage par superposition aussi parfaite que possible des deux images de la source ne peut être considéré comme un procédé parfaitement rigoureux ; on s'en rend compte en opérant sous des incidences très différentes de celle qu'on utilise d'ordinaire. En amenant les deux images d'un point sur une même horizontale, on voit des franges allongées dans le sens vertical ; les deux images sont d'autant plus distantes que les franges sont plus serrées. D'ordinaire, on se place au voisinage du maximum d'écart des deux rayons; les deux images d'un point peuvent alors rester superposées très longtemps lorsqu'on fait tourner un des deux miroirs autour d'un axe vertical, mais il est impossible de saisir la coïncidence exacte.

2° Outre les franges qu'on observe généralement, on peut en voir plusieurs systèmes dans les diverses images de la source. En particulier, dans l'image très brillante, qui est immédiatement voisine de la première, on peut, en interceptant successivement les rayons entre les miroirs, distinguer trois systèmes dont l'un est produit par des rayons qui se sont deux fois réfléchis sur la face postérieure de chaque miroir et dont l'écartement est double de celui des rayons ordinairement considérés. L'un des six systèmes qu'on peut distinguer dans l'image qui suit immédiatement l'image brillante est celui qu'utilise M. Sagnac dans son expérience III. Les appa-

rences se compliquent dans cette expérience si la lame d'air qui sépare les miroirs est elle-même assez mince pour donner des franges en lumière blanche.

M. R. Salvador Bloch, à propos de la Communication de M. Sagnac, communique la méthode de réglage suivante du réfractomètre de Jamin en lumière blanche :

Derrière l'objectif de la lunette de l'appareil dont on a enlevé l'oculaire, on dispose la fente d'un spectroscope dans le plan de localisation des franges, de manière à observer un spectre cannelé. On agit sur la vis V du réfractomètre, qui fait varier l'ordre de l'interférence de manière à réduire progressivement le nombre des cannelures spectrales à une ou deux, par exemple. Les franges colorées sont alors sur la fente du spectroscope, qu'on enlève et remplace par l'oculaire de la lunette.

SÉANCE DU 5 JUILLET 1901.

Présidence de M. H. Pellat.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 juin est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Guerby, Professeur au Lycée d'Annecy (Haute-Savoie);
Zimmern, ancien Interne des Hôpitaux, à Paris.

Le Président annonce l'envoi d'un Ouvrage de M. *Ad. Hatzfeld* sur « Pascal ».

La partie de ce Volume qui traite des Travaux scientifiques de Pascal — Pascal physicien, Pascal mathématicien — a été confiée au lieutenant d'Artillerie *Perrier*, du Service géographique de l'Armée, Membre de la Société.

Transparence de la matière pour les rayons X. — M. L. Benoist avait établi, dans ses recherches antérieures, que l'absorption des rayons X ne dépend pas uniquement de la masse des corps qu'ils traversent, mais aussi de la nature de ces corps et de la qualité des rayons X employés.

Pour étudier complètement l'influence de ces divers facteurs, il a principalement employé la méthode de l'écran fluorescent convenablemen perfectionnée. L'étude a porté sur la plus grande partie des corps simples et sur un nombre considérable de leurs composés.

Chaque corps a été caractérisé par la masse qui, répartie sur 1^{cmq} de base, produit sur les rayons X employés une absorption d'ordre déterminé. C'est ce qui constitue l'équivalent de transparence de ce corps vis-à-vis d'un étalon de transparence convenablement choisi.

On reconnaît ainsi que l'équivalent de transparence d'un corps, pour un même étalon et une même espèce de rayons X, a une valeur constante indépendante des changements d'état physique, des groupements molécu-

laires ou atomiques quelconques que ce corps peut présenter, mais fonction uniquement du poids atomique de ce corps ou des corps simples qui le composent.

En portant les poids atomiques en abscisses et les équivalents de transparence en ordonnées, on obtient la courbe d'isotransparence des corps simples pour la qualité de rayons X considérés.

En modifiant cette qualité, en changeant l'épaisseur étalon, en interposant des écrans, etc., on obtient un faisceau de courbes qui donnent les lois générales de transparence de la matière pour les rayons X.

La principale peut se résumer ainsi : *L'opacité spécifique de la matière pour les rayons X est une propriété additive et essentiellement atomique. Cette opacité, dans le cas des corps simples, est une fonction déterminée et généralement croissante de leur poids atomique.*

Ces courbes donnent aussi les lois du radiochroïsme, c'est-à-dire de l'absorption sélective exercée par la matière sur les rayons X.

Ce radiochroïsme augmente, en général, avec le poids atomique, en présentant toutefois, dans le cas de rayons assez mous, un minimum remarquable dans la région de l'argent.

D'autres applications de ces courbes et de ces lois sont :

La définition précise de chaque qualité de rayons X;

La classification des rayons X, des rayons secondaires, des rayons de l'uranium et du radium, etc.;

La caractérisation précise des tubes radiogènes et de leurs différents états (on peut construire des échelles de teintes, ou chronomètres, formées par des couples de corps de radiochroïsme très différent);

Le perfectionnement des tubes radiogènes, en permettant d'utiliser le rapport qu'elles signalent entre le pouvoir absorbant d'une substance pour une qualité donnée de rayons X, et le pouvoir émissif de ce corps pour cette même qualité, lorsqu'il sert d'anticathode;

La détermination ou la vérification des poids atomiques des corps simples par une méthode plus générale et plus précise que celle de Dulong et Petit, avec un contrôle précieux fourni par le radiochroïsme (c'est ainsi que M. L. Benoist a pu démontrer que le poids atomique de l'indium doit être 113,4 et non 75,6);

Enfin, une méthode générale d'analyse des composés et des mélanges, méthode pouvant dès à présent donner une précision qui dépasse souvent l'ordre du millième.

Au sujet de la Communication de M. L. Benoist, M. P. Villard rapproche les anomalies de transparence aux rayons X observées par M. Benoist pour les métaux voisins de l'argent et les anomalies analogues que M. Villard a observées lui-même en étudiant l'intensité de l'émission des rayons X par une anticathode formée de divers métaux juxtaposés, étudiée pendant son fonctionnement en faisant l'image de cette anticathode sur une plaque radiographique au moyen d'une chambre noire de Porta.

M. G. Sagnac rappelle que des anomalies du même genre ont été déjà signalées par lui pour l'activité et le degré de transformation des rayons secondaires émis dans le vide (ou dans l'air à une distance suffisamment petite) par des métaux divers. C'est ainsi que le fer et le nickel, toutes choses égales d'ailleurs, émettent des rayons secondaires plus actifs que ceux du zinc et surtout que ceux du cuivre, bien que l'ordre des poids atomiques décroissants soit précisément d'ordre inverse.

Foyers conjugués des pinceaux lumineux obliques à une surface sphérique réfringente. Formule de Thomas Young. Applications;

par M. A. Champigny. — Soient P et Q les distances d'un point lumineux A et de son conjugué B, comptées à partir de la surface réfringente sur les rayons incident et réfracté. On sait que, n désignant l'indice de réfraction et R le rayon de la surface sphérique réfringente, on a, dans le cas des rayons centraux :

$$\frac{1}{P} - \frac{n}{Q} = \frac{n-1}{R}.$$

Depuis longtemps, Thomas Young a établi, par des considérations géométriques, une formule qui résout le problème dans le cas où l'on considère un pinceau lumineux tombant sur la surface réfringente sous une incidence quelconque i. Si r est l'angle de réfraction, cette formule est :

$$\frac{R\cos i + P}{R\cos r + Q} = n\frac{\cos r}{\cos i}\frac{P}{Q}.$$

M. A. Champigny insiste sur l'importance de cette formule dont il expose une démonstration très simple : il considère le triangle AMN dont le sommet est le point lumineux A et dont la base est définie par la largeur du pinceau lumineux à sa rencontre avec la surface sphérique réfringente. La relation des sinus donne dans ce triangle : $\frac{P}{\cos i} = \frac{R\,do}{di - do}$, en appelant o l'angle sous lequel la longueur $P = \overline{AM}$ est vue du centre O de la surface réfringente. On a ainsi :

$$(R\cos i + P)\,do = P\,di.$$

Le triangle BMN donne de même :

$$(R\cos r + Q)\,do = Q\,dr,$$

d'où l'on déduit la formule de Thomas Young en divisant membre à membre ces deux relations et remplaçant $\frac{di}{dr}$ par sa valeur $n\frac{\cos r}{\cos i}$.

La formule de Young permet, pour un pinceau d'ouverture quelconque, de donner, point par point, la surface conjuguée qui est le lieu de tous les pinceaux étroits de sommet commun A. On peut ainsi aborder la question des aberrations sphériques et faire d'une manière systématique la théorie des objectifs de microscope et des objectifs photographiques qui sont grands angulaires.

M. A. Cornu rappelle qu'il a fait connaître en 1863, dans les *Nouvelles Annales de Mathématiques*, une construction géométrique qui permet de trouver très simplement le point B correspondant au point lumineux A, pour chaque pinceau incident. Dans cette construction, la droite AB passe par un point qui reste fixe quand A se déplace sur le rayon incident (et par suite B, sur le rayon réfracté). Ce point (*centre de jonction*) est le pied de la perpendiculaire abaissée du centre de courbure O de la surface réfringente sur la droite qui joint les pieds des deux perpendiculaires abaissées du même point O sur le rayon incident et sur le rayon réfracté.

Cette construction géométrique, que Thomas Young avait, à l'insu de M. Cornu, déjà donnée en 1804, mérite d'être connue, car elle permet de déterminer aisément un point quelconque de la caustique.

Franges d'interférence d'addition et de soustraction produites par la biréfringence circulaire, par M. Damien. — Au nom de M. Damien, M. G. Sagnac présente un appareil construit par M. Pellin, qui permet de produire les phénomènes d'interférence dus à la biréfringence circulaire, analogues aux phénomènes dus à la biréfringence rectiligne, déjà présentés à la Société dans la *séance du* 15 *mars* 1901.

M. Pellin projette devant la Société les anciennes expériences, puis les nouvelles. Dans les secondes, on fait intervenir la biréfringence circulaire en remplaçant les cuvettes de quartz de Biot par des cuvettes de quartz dont la face plane, au lieu d'être parallèle à l'axe, est perpendiculaire à l'axe du quartz. Les *franges de soustraction,* analogues aux franges des prismes de Sénarmont, sont produites en projetant l'image de deux telles cuvettes formées de quartz de signes contraires, superposées avec leurs centres distincts et placées entre deux nicols croisés. Les *anneaux d'addition* s'obtiennent de même avec deux cuvettes formées de quartz de même signe ; seulement, à cause de la faiblesse de la biréfringence circulaire comparée à la biréfringence rectiligne, les cuvettes doivent être ici très profondes. Elles ont été taillées par M. Pellin en hémisphères de 18^{mm} de rayon. Pour empêcher les rayons d'être fortement déviés aux bords de la cuvette ou réfléchis totalement, un hémisphère de verre, d'indice voisin de l'indice ordinaire du quartz, a été collé au baume de Canada dans la cuvette de quartz; chaque quartz a ainsi l'apparence d'un cylindre transparent. L'épaisseur ($3^{mm},5$) du quartz au centre de la cuvette a été compensée par une lame de quartz perpendiculaire à l'axe de même épaisseur et de signe opposé collée sur la face plane de la cuvette. Un tel système placé entre deux nicols à l'extinction et projeté présente des anneaux à centre noir produits par la biréfringence circulaire, comme les anneaux classiques de la cuvette de Biot sont produits par la biréfringence rectiligne. Ce sont les franges primaires des nouvelles expériences de M. Damien, lesquelles produisent, quand il y a deux systèmes de cuvettes superposés, les franges secondaires d'addition ou de soustraction. La théorie ne peut plus être faite ici, comme celle des anneaux de Biot, en écrivant que le rayon ρ d'une parallèle de la cuvette de quartz est proportionnel à la flèche correspondante e. On n'a plus

$$\rho^2 = 2Re,$$

en appelant R le rayon de courbure de la cuvette. Il faut alors employer la formule rigoureuse :

$$\rho^2 = (2R - e)e.$$

Il en résulte que les franges de soustraction produites par deux quartz Q_1 et Q_2 de signes contraires, toujours définies par lieu des points m de l'écran tels qu'aux points M correspondants sur les deux quartz la différence des épaisseurs e_1 et e_2 de ces quartz soit constante, ne sont plus définies par $\rho_1^2 - \rho_2^2 =$ const. On peut voir aisément qu'en s'approchant du bord d'une des deux cuvettes de quartz chaque frange de soustraction, au lieu de rester rectiligne, doit s'infléchir vers le centre de la même cuvette. De même les anneaux d'addition ne correspondent plus à la condition $\rho_1^2 + \rho_2^2 =$ const.; ils ne sont plus circulaires, mais sont allongés perpendiculairement à la ligne des centres des deux cuvettes.

Réseaux obtenus par la photographie des ondes stationnaires; par M. A. Cotton. — M. Cotton a poursuivi les expériences sur l'obtention de réseaux par la photographie de franges d'interférence dont il a déjà

entretenu la Société dans la *séance du* 16 *avril*. Les réseaux qu'il présente aujourd'hui ont été obtenus en photographiant des *ondes stationnaires;* c'est-à-dire en faisant interférer une onde directe et une onde réfléchie, comme dans les expériences de Wiener et de Lippmann.

I. Lorsqu'un faisceau parallèle et monochromatique se réfléchit sur un miroir plan, la partie commune à ce faisceau et au faisceau réfléchi est traversée par des surfaces d'interférence fixes, qui forment une série de plans équidistants parallèles au miroir. Si, à l'exemple de Wiener, on dispose une couche sensible très mince, dont la surface plane est oblique par rapport au miroir, on photographie sur cette surface une série de franges rectilignes et équidistantes, d'autant plus serrées que l'angle de la surface sensible et du miroir est plus grand. Or, on peut augmenter cet angle et photographier un grand nombre de franges serrées, si l'on prend certaines précautions que la théorie indique sans difficulté; cette théorie est la même que dans le cas général de l'interférence de deux faisceaux *parallèles*.

La radiation monochromatique est toujours fournie par la raie indigo de l'arc au mercure. La lumière de cet arc, filtrée par des absorbants convenables, éclaire la fente d'un collimateur : cette fente doit être d'autant plus étroite et plus courte que l'on veut photographier des franges plus éloignées du miroir. La surface argentée de ce miroir a été disposée d'avance, par autocollimation, normalement au faisceau : c'est, en effet, l'orientation qui fournit les ondes stationnaires d'ordre donné, les plus nettes, pour une ouverture donnée de la fente du collimateur. $\left(\text{Ces ondes sont alors distantes de } \frac{\lambda}{2}.\right)$ On dispose alors la glace sur laquelle doivent se fixer les franges : la surface sensibilisée repose à l'une de ses extrémités sur le miroir, et en est séparée à l'autre extrémité par une cale de verre dont l'épaisseur varie suivant le nombre de franges que l'on veut photographier.

II. Le procédé photographique employé dérive du daguerréotype. Des travaux récents, notamment de Wiener et de Scholl, sur ce procédé si curieux et si intéressant à divers titres, permettaient en effet d'espérer qu'on obtiendrait ainsi une couche *sensible seulement à sa surface*, et qui fournirait commodément de bons résultats. Une couche d'argent très mince (couleur bleu clair par transmission) est déposée sur la glace; on la traite, avec quelques précautions qui seront indiquées ailleurs, par les vapeurs d'iode et de brome jusqu'à ce qu'il se soit formé, à la surface de l'argent devenu plus mince encore, une couche d'épaisseur convenable d'iodure et de bromure d'argent. Après la pose, la plaque est révélée à la vapeur de mercure qui se dépose en buée très fine aux endroits où la lumière a agi. Dans le cas actuel, ce développement fait apparaître un réseau, sans qu'il soit nécessaire de plonger dans un liquide la plaque qu'il n'est pas nécessaire de fixer.

III. M. Cotton présente à la Société un de ces réseaux dont la surface *rayée* a environ 5^{cm} de largeur. Comme il y a environ 90 traits au millimètre, le réseau porte en tout plus de 4000 traits. La cale employée avait près de 1^{mm} d'épaisseur.

Les spectres, surtout nets par réflexion, sont assez purs pour qu'on puisse dédoubler la raie jaune du mercure. Cependant les glaces utilisées étaient simplement des morceaux de glace du commerce, et l'on ne peut espérer obtenir le pouvoir séparateur théorique qu'avec des glaces travaillées spécialement et contrôlées au préalable.

Une propriété géométrique curieuse de ces réseaux se justifie sans peine : Considérons une onde plane qui occupe, par rapport au réseau, la place du miroir qui a servi à l'obtenir : le réseau pour cette onde, et pour la radiation qui avait servi, est au minimum de déviation, c'est-à-dire que, fonctionnant sous cette incidence comme réseau par réflexion, il renvoie dans la direction des rayons incidents les rayons de cette couleur particulière. Cette propriété est indépendante de l'angle des plans : on pourrait donc, pour obtenir le réseau, utiliser une surface formée de plusieurs morceaux accolés (ou même une surface courbe, pourvu que les ondes soient planes à la sortie). La photographie une fois faite, toute la surface de ce réseau en mosaïque renverrait dans la direction du faisceau parallèle incident, arrivant sous cette incidence privilégiée, la radiation qui a servi à fixer les franges.

Les spectres diffractés du premier ordre ont beaucoup plus d'éclat que les autres, ce qui tient à la *continuité* du tracé (*voir* la Communication du 16 avril). L'épaisseur de la couche du sel d'argent n'est pas indifférente à ce point de vue : on lui a donné une épaisseur telle que la lame mince qu'elle forme sur le reste d'argent non attaqué ne réfléchisse pas sensiblement la radiation bleue servant à faire la photographie. Dans ces conditions les réflexions successives n'interviennent plus, et en outre la plaque est plus sensible. Avec une autre épaisseur donnée à la couche, on pourrait favoriser au contraire les réflexions successives, changer la distribution de la lumière dans les franges, et donner au réseau obtenu des propriétés qui se rapprocheraient davantage de celles des réseaux à traits discontinus. (C'est ce que l'on peut faire aussi en photographiant les franges par transmission d'un coin d'air à surfaces réfléchissantes, comme en utilisent MM. Perot et Fabry : il suffit pour cela de répéter l'expérience précédente en sensibilisant au contraire le miroir postérieur.)

IV. Un daguerréotype, fait sur un support d'argent mince, fonctionne comme un négatif par transparence, et peut servir à obtenir des *copies*, sur papier par exemple. Dans le cas des réseaux, il était tout naturel d'employer pour ces copies le procédé de la gélatine bichromatée, suivant la technique de M. Izarn. Il fournit en effet sans difficulté des copies qui donnent, par transmission surtout, des spectres plus brillants que ceux fournis par l'original; ce qu'il est facile de comprendre.

M. Cotton projette devant la Société les spectres donnés par une de ces copies. Il montre également une épreuve faite en faisant successivement sur une même glace sensibilisée deux copies successives, entre lesquelles on a tourné dans son plan, d'un petit angle, le réseau servant de modèle : le *moiré* obtenu renseigne sur la régularité du tracé : c'est un des procédés indiqués par M. Cornu pour cette étude. M. Cotton montre encore une copie obtenue avec un lavage insuffisant : les spectres, presque invisibles sur la plaque sèche, deviennent très brillants quand on souffle dessus.

Ce procédé à la gélatine bichromatée, si commode pour les copies, ne s'est pas montré assez sensible pour qu'on pût l'utiliser pour fixer *directement* les franges très serrées constituant le réseau, en appliquant le procédé décrit par M. Izarn (*C. R.*, 1894). Ce procédé est très commode, mais quand on dispose d'un faisceau intense, comme cela est possible lorsqu'on ne veut pas un très grand nombre de franges.

V. M. Cotton présente encore à la Société un *objectif à diffraction* obtenu encore par photographie. Il avait déjà rappelé que c'est M. Cornu qui a indiqué le premier que la photographie des franges d'interférence pouvait servir à faire des réseaux. M. Cornu avait prévu et vérifié qu'en photographiant des franges suivant les lois des anneaux de Newton, on

obtenait facilement un réseau ayant les propriétés focales des écrans de Fresnel et des réseaux de Soret.

Il était intéressant de vérifier que les ondes stationnaires fournissaient, ici encore, un moyen d'obtenir ce résultat sans objectif. Il a suffi, en effet, de remplacer le miroir plan postérieur par un miroir sphérique. Celui-ci, préparé en argentant la surface convexe d'une lentille, avait près de $0^m,50$ de rayon de courbure. Le réseau obtenu par ce procédé, qui a encore une surface *rayée* de 5^{cm} de diamètre, montre des anneaux visibles à l'œil nu au centre du champ et qui vont en se resserrant régulièrement jusqu'au bord, où il y en a environ 200 au millimètre. On fixe ainsi d'un seul coup plus de 2000 franges circulaires : c'est beaucoup plus que dans les appareils analogues antérieurement construits et que Soret, Wood, etc., avaient obtenus en photographiant des dessins. Aussi les foyers obtenus par transmission ou par réflexion sont-ils très distincts.

Ici encore, les copies à la gélatine bichromatée donnent des images spectrales plus brillantes que l'original. M. Cotton utilise l' « objectif à diffraction » ainsi obtenu par une copie, et qui, pour les rayons bleus, a $0^m,25$ de foyer, pour projeter directement sur l'écran une image des charbons de l'arc. Cette image est colorée, puisque la puissance de la lentille à laquelle l'appareil équivaut est proportionnelle à la longueur d'onde. On peut néanmoins, avec un tel *objectif*, photographier des objets éclairés avec une source monochromatique.

VI. M. Cotton termine en faisant remarquer que les conditions expérimentales dans lesquelles il s'est placé (expérience I) sont exactement celles que l'on suppose quand on fait la *théorie* des expériences de Wiener et de Lippmann. Or, il est intéressant de noter que ces conditions n'étaient pas exactement remplies dans ces *expériences* mêmes, telles qu'elles ont été faites. Wiener, en particulier, pour obtenir les clichés qui ont servi à ses mesures, n'utilisait pas un faisceau *parallèle* et monochromatique, mais bien un faisceau *convergent :* il projetait, en effet, sur les glaces un spectre dont les raies étaient au point. Or, une onde lumineuse convergente éprouve, comme on le sait depuis les travaux de M. Gouy, des anomalies dans sa propagation au voisinage d'un foyer ou d'une ligne focale. Pour faire voir que cette remarque pourrait avoir une importance pour la théorie, il suffit de rappeler que ces anomalies se traduisent par une avance de $\frac{\lambda}{2}$ lors du passage par un foyer, et que, si ce foyer était exactement au point sur le miroir, la place des anneaux n'indiquerait pas, en toute rigueur, le changement de signe par réflexion normale. M. Cotton reviendra sur ce point lorsqu'il aura pu faire des expériences avec les couches sensibles transparentes comme en préparait M. Wiener, et avec l'émulsion *sans grain* que M. Lippmann emploie pour la photographie des couleurs. De telles couches, dont on peut annuler le pouvoir réflecteur, sont nécessaires pour résoudre ces questions délicates relatives à la place des franges ; elles ne sont pas indispensables si l'on veut seulement en fixer une succession nombreuse et régulière pour avoir un réseau.

SÉANCE DU 15 NOVEMBRE 1901.

PRÉSIDENCE DE M. H. PELLAT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 5 juillet est lu et adopté.

M. le PRÉSIDENT annonce à la Société les pertes douloureuses qu'elle a faites pendant les vacances : MM. *Hirsch*, professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers; *Kœnig*, constructeur d'instruments d'acoustique, et *Wunschendorff*, inspecteur général des Postes et des Télégraphes.

Le Comité du Cinquantenaire scientifique de M. Berthelot invite la *Société de Physique* à se faire représenter à cette solennité, qui doit avoir lieu le dimanche 24 novembre, dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne, sous la présidence de M. le Président de la République. Des cartes sont mises à la disposition des membres de la Société.

Acétylène dissous (Claude et Hess). — *État actuel du procédé.* — *Applications diverses.* — *Eclairage intensif par incandescence.* — *Appareils générateurs spéciaux pour produire cet éclairage;* par M. ED. FOUCHÉ.

Études préliminaires. — Dès l'année 1896, MM. Claude et Hess eurent l'idée de faire appel à la solubilité de l'acétylène dans les liquides pour obtenir une accumulation de ce gaz dans des récipients portatifs avec beaucoup moins de pression que n'en exige la liquéfaction. Ils espéraient ainsi, avec raison, diminuer les dangers que pouvait présenter le gaz liquéfié, dont la pression à 37° est déjà de 68^{atm} (pression critique).

A cet effet, tous les liquides connus furent expérimentés et pour chacun d'eux on détermina le coefficient de solubilité correspondant.

Ceux qui fournirent les chiffres les plus élevés sont principalement : l'acétate d'éthyle qui dissout 22,5 fois son volume d'acétylène à la température de 11°, par atmosphère de pression; l'acétate de méthyle, 26,5; le formiate d'éthyle, 24; le formiate de méthyle, 29; le méthylal, de 25 à 32, suivant que la pression est comprise entre 5^{atm} et 10^{atm}, ou bien entre 0^{atm} et 5^{atm}; l'acétal, 16,5 et l'acétone 24, à 15°. Parmi ces divers corps, l'acétone fixa particulièrement l'attention des inventeurs et leur parut le mieux approprié à l'emploi qu'ils avaient en vue, parce que son point d'ébullition (56°) n'est pas trop bas, et qu'il se prépare industriellement d'une façon courante.

C'est avec ces données qu'a été fondée la *Compagnie française de l'Acétylène dissous* (14 janvier 1897), ayant comme programme la transformation des premières idées théoriques en un procédé véritablement pratique.

Dissolution de l'acétylène dans l'acétone. — Les études qui ont été faites tout d'abord sur les propriétés de la dissolution de l'acétylène dans l'acétone ont conduit à un certain nombre de résultats intéressants. Le

coefficient de solubilité (24° à 15°) varie d'une manière importante avec la température.

MM. Berthelot et Vieille (*Comptes rendus*, 10 mai 1897) ont étudié les variations de pression qui se manifestaient à l'intérieur d'un récipient contenant diverses quantités de dissolution; ils ont montré, entre autres, que si la pression absolue était de $16^{kg},17$ à 2°,8 de température pour un récipient contenant une quantité de liquide un peu inférieure à la moitié de son volume, cette pression devenait $33^{kg},21$ pour la température de 50°,5.

De ces expériences, et d'autres faites ultérieurement dans le laboratoire de la *Compagnie française,* et qui se sont trouvées parfaitement d'accord avec les précédentes, on a pu déduire que, dans les conditions usuelles de remplissage et de fonctionnement, la pression initiale augmentait approximativement de $\frac{1}{30}$ par degré d'élévation de température.

L'acétylène à l'état de dissolution dans l'acétone présente un phénomène remarquable : sa densité, déterminée par M. Claude, serait dans ces conditions 0,71 à 15°, tandis que, d'après M. Pictet, celle de l'acétylène n'est que de 0,42. Si l'on rapproche cette condensation importante des phénomènes de sursaturation que la dissolution présente à un degré extrêmement élevé, on est tenté de se demander s'il s'agit bien là d'une simple dissolution, et si quelque autre action ne viendrait pas s'y joindre.

Sous l'influence de la chaleur, le liquide constitué par l'acétylène et l'acétone augmente naturellement de volume. Le coefficient de dilatation a été trouvé égal à 0,0015; celui de l'acétone pur est aussi 0,0015. Il s'ensuit que l'acétylène dans la dissolution aurait également le même coefficient de dilatation, tandis que pour l'acétylène liquide, dans les limites ordinaires de la température ambiante, ce coefficient est environ 0,007, soit presque cinq fois plus grand.

La présence de l'eau dans l'acétone diminue le coefficient de solubilité dans des proportions plus fortes que celles qui correspondraient à la diminution de concentration de la liqueur. Aussi importe-t-il d'employer de l'acétone aussi concentré que possible (pratiquement 99°) et de n'y introduire que de l'acétylène parfaitement sec.

Explosibilité de la dissolution. — Les propriétés explosives de l'acétylène comprimé sont considérablement modifiées par le fait de l'incorporation du gaz à l'acétone. La question a été étudiée par MM. Berthelot et Vieille, qui ont démontré que jusqu'à la pression de 10^{kg} la solution était parfaitement stable, mais qu'à 20^{kg} on pouvait, dans certaines circonstances, faire décomposer à la fois l'acétylène libre au-dessus du liquide, le gaz en dissolution et l'acétone lui-même.

Il résulte de là que cette méthode d'accumulation de l'acétylène, sous des pressions voisines de 10^{kg}, présente un avantage considérable sur la simple compression ou la liquéfaction, puisqu'il n'y a d'explosible que la très faible quantité de gaz surmontant le liquide, laquelle ne pourrait jamais donner, en cas de décomposition, qu'une pression décuple de la pression initiale, environ 100^{kg}. Les récipients en fer résistent facilement à une telle pression, tandis qu'ils sont infailliblement brisés par la décomposition de l'acétylène liquide donnant lieu à des pressions de plusieurs milliers d'atmosphères.

Matières poreuses. — Cependant le procédé dans ces conditions n'était pas industriellement applicable.

La possibilité d'une décomposition interne, même sans rupture des récipients, était inadmissible. En outre, pour certaines applications, l'éclairage

des chemins de fer en particulier, il y avait lieu de redouter la présence d'un liquide combustible qui, dans une collision, pourrait se répandre sur les décombres, s'enflammer et accroître la gravité de l'accident. En outre, la dissolution de l'acétylène et son dégagement pendant l'emploi ne se font régulièrement qu'à la condition d'agiter le liquide, ce qui est un inconvénient lorsqu'on a affaire à des récipients volumineux et pesants.

Tous ces inconvénients ont été supprimés à l'aide d'un unique artifice consistant à remplir complètement les récipients avec une matière poreuse à grains fins, d'une résistance suffisante.

Des essais multiples, faits à des pressions allant jusqu'à 35^{kg}, ont montré que l'on rendait ainsi inexplosibles, non seulement le gaz libre, mais aussi la dissolution.

La décomposition provoquée en un point des récipients ainsi garnis ne se propage qu'à une distance insignifiante, en produisant un surcroît de pression à peine égal à la pression initiale.

Le rôle de la matière poreuse dans ce cas est analogue à celui que joue la terre d'infusoires dans la dynamite.

On peut encore rapprocher ce phénomène des expériences de M. H. Le Chatelier sur la propagation de la combustion d'un mélange d'air et acétylène dans l'intérieur de très petits tubes (*Comptes rendus*, 30 décembre 1895).

En outre, ces matières poreuses ont l'avantage de supprimer toute possibilité d'écoulement de liquide; elles facilitent la dissolution et suppriment les phénomènes de sursaturation.

M. Fouché présente deux échantillons de matières poreuses actuellement employées : une brique très légère (densité 0,5, porosité 0,80) qui sert pour l'acétylène dissous; un aggloméré formé de ciment et de braise (densité 0,3, porosité 0,80). Ce dernier est plus économique, mais n'est applicable qu'à l'acétylène comprimé sans acétone, ce liquide étant décomposé peu à peu par la chaux.

Des récipients ainsi préparés ont été expérimentés au laboratoire des Poudres et Salpêtres, et les résultats obtenus, conformes à ceux indiqués ci-dessus, ont permis à l'administration d'autoriser l'exploitation du procédé, sous la condition, bien facile à remplir, que les tubes d'acier mis en contact avec le public seraient éprouvés à 60 atmosphères.

Un nouvel aggloméré au charbon, mais ne contenant pas de chaux, est actuellement à l'étude.

Beaucoup moins coûteux que la brique, il permettra en outre d'utiliser des récipients du genre de ceux qui servent au transport de l'oxygène ou de l'acide carbonique et qui coûtent trois fois moins cher que les modèles adoptés jusqu'à présent par la *Compagnie française de l'Acétylène dissous*.

Ce perfectionnement, d'une importance considérable, permettra au procédé de prendre tout son essor.

Types de récipients. — Les récipients actuellement utilisés ont les capacités de 2^{lit}, 12^{lit}, 100^{lit}. Une voiture, comprenant quatre grands tubes de 40^{cm} de diamètre, a une capacité totale de 1^{mc}.

La quantité de gaz qu'on peut pratiquement accumuler dans ces appareils est de dix fois leur volume par atmosphère de pression; soit, par conséquent, cent fois ce volume pour la pression normale de 10^{kg}.

Appareils accessoires. — Le gaz qui s'échappe de la dissolution a une pression constamment variable. Cette pression doit être régularisée par un détendeur; M. Fouché présente plusieurs modèles de ces appareils établis spécialement pour l'emploi de l'acétylène.

Les autres appareils accessoires sont la soupape de garantie à mercure,

grâce à laquelle la pression ne peut jamais s'élever outre mesure dans les canalisations et le compteur du type sec ou du type humide.

Préparation de l'acétylène dissous. — L'acétylène est préparé sans pression dans un appareil à chute de carbure, évitant les rentrées d'air. Il s'accumule dans un gazomètre, d'où une pompe l'aspire en lui faisant traverser un épurateur et un sécheur.

La pompe est à deux corps complètement séparés; le premier comprime à $3^{kg},5$, le deuxième à $3,5 \times 3,5 = 12^{kg}$. Cette méthode évite complètement les dangers de l'échauffement dû à la compression.

Le gaz comprimé est envoyé dans des récipients de grand volume garnis de briques et d'acétone, jouant le rôle d'accumulateurs.

Les récipients à charger sont mis en communication avec ces accumulateurs; ils reçoivent ainsi de l'acétylène saturé de vapeur d'acétone; grâce à cet artifice, l'épuisement de l'acétone dans les tubes servant au transport du gaz est considérablement ralenti.

Les récipients, une fois chargés, sont transportés chez le consommateur, chez qui on les laisse jusqu'à épuisement.

Becs à incandescence. — Les becs ordinaires à acétylène consommant $7^{lit},5$ à 8^{lit} par carcel, on a cherché, dans un but d'économie, à réaliser l'éclairage par l'incandescence, ce qui présentait des difficultés sérieuses, en raison de la très grande explosibilité des mélanges d'air et d'acétylène.

M. Fouché montre plusieurs modèles de becs Sirius, devenus maintenant d'un usage courant, produisant de 11 à 50 carcels sous 30^{cm} de pression, avec une consommation de $2^{lit},5$ à 3^{lit} au plus par carcel-heure.

Quantité de lumière accumulée. — Les chiffres de consommation par carcel-heure indiqués ci-dessus permettent de comparer l'acétylène dissous à d'autres modes d'éclairage portatif.

On trouve ainsi que 1^{kg} de récipient en fer, pouvant contenir 33^{lit} d'acétylène, donne 40 à 45 bougies-heures avec des becs ordinaires, et 110 avec l'incandescence, tandis que 1^{kg} d'accumulateur électrique ne donne que 10 bougies-heures avec l'incandescence et 30 avec l'arc.

Le gaz portatif, à raison de 40^{lit} par carcel-heure, est cinq fois moins lumineux que l'acétylène; en outre, sous la même pression, le volume accumulé est dix fois moindre que pour l'acétylène dissous; de sorte qu'en fin de compte, sous le même volume et la même pression, on emmagasine cinquante fois plus de lumière avec l'acétylène dissous qu'avec le gaz portatif.

Applications. — L'application la plus indiquée de l'acétylène dissous consiste dans l'éclairage des voitures de chemins de fer. Elle n'a eu lieu encore en France qu'à titre d'essais; mais elle s'organise actuellement dans plusieurs pays étrangers.

Des tramways (Funiculaire de Belleville) sont exclusivement éclairés par ce système depuis plusieurs années.

L'application aux automobiles commence à se développer.

Comme éclairages mobiles, il faut citer encore les chantiers, les fêtes foraines, les théâtres forains, etc.

Enfin, les éclairages fixes pour maisons de campagne, ateliers, magasins, etc., sont de plus en plus appréciés.

Éclairage intensif. — M. Fouché montre les résultats qu'on peut obtenir en augmentant la pression du gaz dans les becs à incandescence,

jusqu'à 2^m et même au delà. L'éclat intrinsèque du manchon augmente considérablement, et c'est ainsi qu'au dépôt des Phares on a constaté que cet éclat atteignait 4 carcels par centimètre carré, tandis que le gaz d'huile et le pétrole ne permettent que d'obtenir respectivement 2,5 et 3 carcels. Il y a donc là un progrès important.

Le plus petit bec Sirius dans les lanternes à projection, avec 37 carcels, dépasse la lumière oxhydrique; ce même bec, par une injection centrale d'oxygène, arrive à fournir 60 carcels.

Chalumeau oxyacétylénique. — L'incandescence d'un bâton de magnésie avec de l'oxygène et de l'acétylène n'a pu être réalisée jusqu'ici, à cause de dépôts abondants de charbon qui se forment instantanément à l'extrémité du chalumeau. En diluant l'acétylène avec un autre gaz ou vapeur, on peut le rendre plus maniable et réaliser ce genre d'éclairage. Avec de l'acétylène et de la vapeur d'éther, l'incandescence obtenue, expérimentée pratiquement sur un cinématographe, a été trouvée très franchement supérieure à ce qu'on peut obtenir avec le chalumeau oxy-éthérique.

Le même procédé peut donner lieu à des applications industrielles.

M. Fouché allume un chalumeau avec lequel il fait fondre avec la plus grande facilité une barrette de fer de 1^{cm} de diamètre.

Appareils spéciaux. — M. Fouché présente ensuite quelques appareils générateurs créés spécialement pour produire avec facilité l'acétylène sous les débits et les pressions que nécessite l'éclairage intensif.

L'héliophore et les divers modèles de piézogènes sont basés sur les propriétés avantageuses que présentent les mèches, draps ou autres matières poreuses employées pour distribuer l'eau sur le carbure. Incapables de s'obstruer comme peut le faire un petit orifice, elles opposent au retour du gaz en arrière une résistance bien supérieure à la charge hydrostatique.

Dans l'héliophore, où le carbure est en contact avec un feutre mouillé extérieurement, la pression qui s'établit à l'intérieur de l'appareil ne dépend que faiblement de la charge hydrostatique, à laquelle d'ailleurs elle peut être supérieure.

Projections. — M. Fouché termine en montrant, à l'aide d'une lanterne à projections et de quelques clichés, les effets produits par les diverses lumières intensives dont il a parlé :

La rampe à quatre becs ordinaires, pouvant être alimentée par l'héliophore;

Les becs à incandescence à 1^m et 2^m qui peuvent être utilisés soit avec un tube à acétylène dissous, soit avec les deux modèles de piézogènes;

Enfin, le bec à incandescence avec injection d'oxygène.

M. G. Claude, au sujet des belles recherches de MM. Berthelot et Vieille, sur l'explosibilité de l'acétylène dissous, fait remarquer que l'atténuation probable des propriétés explosives de l'acétylène par le fait de sa dilution dans un liquide inerte a été l'une des raisons qui l'ont conduit, avec son collaborateur M. Hess, à l'élaboration d'un système d'emmagasinement conçu avant tout dans le but de diminuer les dangers du nouvel éclairant.

Il rappelle à ce propos que la Note présentée à l'Académie des Sciences, le 28 mars 1897, par M. d'Arsonval au nom des inventeurs, mentionne le fait de l'*incandescence d'un fil de platine* immergé dans une solution d'acétylène dans l'acétone sous 2^{atm} à 3^{atm}.

Relativement à l'observation de M. Fouché sur les phénomènes de sursaturation gazeuse qui feraient penser que l'acétylène dissous est mieux qu'une dissolution, M. Claude donne le résultat d'expériences personnelles qui viendraient à l'appui de cette manière de voir.

En étudiant la solubilité de l'acétylène dans les divers liquides organiques, l'auteur a été à même de constater cette loi remarquable : dans les limites de précision de la méthode d'expérimentation, la solubilité dans les différents termes d'une même famille chimique de liquides organiques (alcools, éthers formiques, éthers acétiques, etc.) est directement proportionnelle au nombre de molécules contenues dans l'unité de poids du liquide essayé, c'est-à-dire *inversement proportionnelle au poids moléculaire*. Il n'en résulte pas qu'il y ait, dans ces dissolutions, combinaison à proprement parler, puisque le *poids* d'acétylène fixé à chaque molécule est proportionnel à la pression; mais il semble pourtant y avoir quelque chose de mieux défini que dans d'autres cas, celui, par exemple, des dissolutions d'oxygène, pour lequel la même loi n'a pu être retrouvée.

SÉANCE DU 6 DÉCEMBRE 1901.

Présidence de M. H. Pellat.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 15 novembre est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Ancel (Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris ;
Bourget (Henri), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, Astronome adjoint à l'Observatoire de Toulouse ;
Gheury (Maurice-Edmond-Joseph), Lieutenant au long cours, à Londres (Angleterre) ;
Trenchard More (Louis) (Ph. D. Johns Hopkins University), Professeur à l'Université de Cincinnati (Ohio) (U. S. A.).
Le dépôt central de la Télégraphie militaire, à Paris.

M. le Président annonce à la Société la perte douloureuse qu'elle vient de faire en la personne de M. *Giroux*, ingénieur-opticien.

M. Ducretet adresse à la Société deux brochures sur la *Télégraphie sans fil* :

1° Notice sur la *Télégraphie hertzienne sans fil aux grandes distances ;*
2° *Guide pratique de la Télégraphie hertzienne sans fil aux grandes distances*, dans lesquelles il décrit les appareils qu'il construit et dont les premiers types datent de 1897.

Sur la détermination des paramètres optiques des cristaux par le réfractomètre. Expériences diverses sur la double réfraction de l'acide tartrique, par M. A. Cornu.

La détermination des trois indices et des trois axes principaux d'un

cristal, si importante à la fois en Optique, en Minéralogie et en Pétrographie, est longue et difficile par la méthode des prismes qui exige la taille de faces planes rigoureusement orientées. Elle devient théoriquement très simple lorsqu'on opère par réflexion totale dans un milieu suffisamment réfringent, car une seule face plane, orientée d'une manière quelconque, fournit alors toutes les données nécessaires. Mais la détermination des trois directions principales est restée jusqu'ici hérissée de calculs inabordables pour la pratique courante. M. A. Cornu, qui a fait, au réfractomètre d'Abbe, de nombreuses observations sur divers cristaux, a été amené à faire l'étude géométrique directe de la réflexion totale sur une surface cristalline et a été conduit ainsi à des relations analytiques d'une simplicité inespérée qui facilitent considérablement la solution du problème.

M. A. Cornu rappelle d'abord le principe de l'emploi du réfractomètre à réflexion totale tel que l'a indiqué en dernier lieu Soret. La face cristalline étudiée est appliquée, par l'intermédiaire d'une couche d'un liquide convenable, sur la face plane horizontale d'un hémisphère de verre très réfringent qui peut tourner autour d'un axe vertical. En faisant varier, à l'aide de ce mouvement de rotation, l'azimut du plan d'incidence autour de la normale à la face cristalline, on trouve quatre *azimuts principaux* pour lesquels l'angle de réflexion totale I est maximum ou minimum. Les valeurs principales extrêmes I_x et I_y de l'angle de réflexion totale correspondent aux deux indices extrêmes de réfraction n_x et n_z; mais il faut choisir, entre les angles I_y et I_z des deux autres azimuts, l'angle I_y qui correspond à l'indice moyen n_y, pour pouvoir rejeter la quatrième valeur de I qui fournirait un indice supplémentaire ν dépendant de la taille de la face cristalline. De là une complication dans l'ancienne méthode. L'existence du quatrième azimut principal correspondant à l'indice supplémentaire r n'est plus, dans la méthode de M. A. Cornu, qu'une source de vérification.

Étude géométrique. — M. A. Cornu expose les parties principales de son étude géométrique directe de la réflexion totale sur une surface cristalline ([1]). Cette étude est fondée sur la construction de la surface de l'onde qui permet d'obtenir un point de la normale en ce point en partant de l'ellipsoïde de Fresnel dont les axes a, b, c sont les inverses des indices principaux n_x, n_y, n_z.

Il rappelle d'abord les conditions auxquelles conduit la construction d'Huygens pour l'existence du rayon efficace dans la réflexion totale et la relation

$$p \sin I = R, \tag{1}$$

entre l'angle I de réflexion totale, l'inverse R de l'indice N du milieu extérieur, et la distance p de l'origine à la tangente à la section de l'onde par la face cristalline. La forme de cette section de surface de l'onde se trouverait géométriquement définie comme enveloppe par sa *podaire,* si l'on connaissait les angles I de réflexion totale correspondant aux divers azimuts.

Mais, sans passer par l'étude de cette podaire, M. A. Cornu détermine géométriquement, en projection stéréographique, les quatre rayons vecteurs de la surface de l'onde qui sont en même temps les paramètres p correspondants de la podaire et correspondent, par suite, aux quatre azimuts principaux. La même projection stéréographique fait reconnaître immédiatement les

---

([1]) Voir : *Comptes rendus,* t. CXXXIII, p. 125 (15 juillet 1901), et p. 463 (16 septembre 1901).

trois rayons vecteurs, de longueur maximum ou minimum, qui fournissent par leurs inverses les trois indices principaux n_x, n_y, n_z, puis le quatrième rayon vecteur, maximum ou minimum aussi, qui correspond au quatrième azimut principal et fournit l'indice supplémentaire r. M. A. Cornu montre très simplement que, si α, β et γ sont les angles que fait la normale à la face cristalline avec les trois directions principales, l'indice r satisfait à la relation :

$$(2) \qquad \nu^2 = n_x^2 \cos^2 \alpha + n_y^2 \cos^2 \beta + n_z^2 \cos^2 \gamma,$$

qui permet à la fois de calculer ν^2, de distinguer sans ambiguïté n_y de ν et d'obtenir une précieuse vérification.

La projection stéréographique déjà utilisée fournit encore les trois relations qui définissent les angles α, β, γ connaissant les angles que font entre eux les trois premiers azimuts principaux A, B, C, et qui sont du type :

$$(3) \qquad \cos^2 \alpha = \operatorname{cotg} \widehat{AB} \operatorname{cotg} \widehat{CA},$$

avec la relation : $\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$ comme vérification. L'azimut D du plan d'incidence correspondant à l'indice supplémentaire ν est déterminé à son tour par trois autres relations du type :

$$(4) \qquad \operatorname{tg} \widehat{AD} = \operatorname{tg} \widehat{BC} \, \frac{r^2 - n_x^2}{n_y^2 - n_z^2}.$$

Cette méthode de calcul rend très praticable la détermination des indices principaux d'un cristal par l'observation de la réflexion totale sur une seule face cristalline.

Vérifications et résultats relatifs à l'acide tartrique. — M. A. Cornu les a vérifiées par de nombreuses observations au réfractomètre Abbe. Parmi les corps cristallisés étudiés par lui, l'acide tartrique présente une biréfringence assez grande pour permettre une vérification vraiment efficace. M. A. Cornu a trouvé pour valeurs des indices principaux de l'acide tartrique :

$$n_x = 1,49606, \qquad n_y = 1,53573, \qquad n_z = 1,60554,$$

avec une erreur possible inférieure au dix-millième.

L'angle de réfraction conique, qui n'atteint pas 2° avec l'aragonite, s'élève pour l'acide tartrique à 4°.

Expériences de projection. — En terminant sa communication, M. A. Cornu fait projeter par M. Pellin le phénomène de réfraction conique obtenu avec un cristal d'acide tartrique de 23^{mm} d'épaisseur, mobile autour de deux axes rectangulaires.

Ensuite est vérifiée la polarisation si curieuse de l'anneau lumineux correspondant à cette réfraction conique à l'aide d'un analyseur biréfringent formé également d'un cristal tartrique ; cet analyseur a été construit par M. I. Werlein.

Une dernière expérience projetée devant la Société consiste à plonger un cristal non taillé d'acide tartrique du commerce dans une cuve à faces parallèles renfermant de l'essence de girofle, dont l'indice 1,53 se trouve être sensiblement identique à l'indice moyen de l'acide tartrique. Entre la lanterne de projection et la cuve est disposé un petit écran percé d'un assez grand nombre de trous qui définissent autant de pinceaux étroits de rayons et dont les images, dédoublées par le cristal, sont formées sur

l'écran de projection. En tâtonnant un peu, on parvient à trouver une position du cristal telle que l'une de ces nombreuses images doubles se transforme dans le petit anneau lumineux qui caractérise la réfraction conique.

M. Pellat dit qu'il lui a semblé que la projection de la réfraction conique ne devait être exactement ni l'intérieure, ni l'extérieure.

M. A. Cornu dit qu'en effet ce n'est exactement ni l'une ni l'autre en projection et qu'on se rapproche seulement de la réfraction conique intérieure. Mais on peut la réaliser exactement dans l'observation au microscope en pointant à travers le cristal l'image d'un petit trou; l'expérience peut se faire avec une lame de clivage de bichromate de potasse en utilisant le fait que l'axe optique est normal à la face de clivage.

M. A. Cornu rappelle que le pouvoir rotatoire de l'acide tartrique ne se présente pas dans les cristaux suivant le sens des axes optiques. Il a pu vérifier le fait au cours de ses expériences.

M. Wyrouboff rappelle que, d'après l'explication physique du pouvoir rotatoire donnée par M. Mallard, le véritable pouvoir rotatoire, caractérisé par l'extinction en lumière monochromatique entre deux nicols, est incompatible avec les cristaux biaxes et ne peut se présenter que dans les cristaux uniaxes.

Nouveaux appareils d'étude et d'utilisation des diverses radiations lumineuses, par MM. le Dr Foveau de Courmelles et G. Trouvé.

Pour avoir une quantité suffisante de lumière sans recourir à de grandes sources d'énergie et en isoler les radiations calorifiques, lumineuses ou chimiques, nous utilisons la réflexion parabolique, nous séparons des autres les radiations à étudier et nous les concentrons ensuite sur des surfaces réfléchissantes : tronc de cône concentrateur ou miroir concave réfléchissant une seconde fois les rayons parallèles qu'il reçoit et les envoyant en avant sur une sorte de surface focale ; on les dirige ainsi sur le milieu à étudier ou irradier : corps électrisés, champ du microscope... Nos premiers appareils, présentés à l'Institut le 24 décembre dernier par M. Lippmann, ont été modifiés et perfectionnés. Les rayons calorifiques sont tamisés à travers un disque en verre rouge, la lumière éclairante à travers un disque jaune, la lumière chimique à travers des lamelles de quartz. Quand la chaleur doit être supprimée, une intense circulation d'eau froide a lieu autour de l'appareil et entre les quartz, où elle doit être très limpide. Les sources d'énergie lumineuse peuvent être diverses, et sont interchangeables : lampe à incandescence, ordinaire ou à charbon spécial, arc voltaïque, acétylène, métaux... Nous signalerons les actions thérapeutiques remarquables obtenues sans brûlures ni phlyctènes, à l'hôpital Saint-Louis, avec nos rayons ultra-violets, contre le lupus, l'épithélioma, les tuberculoses diverses et même pulmonaires avec ou sans compression de la région traitée,... par une lampe à arc de 10 ampères irradiant 10 minutes, à 70 volts par exemple (8 ampères à 85 volts donnant parfois aussi le même résultat) alors qu'il faut 75 à 80 ampères et des séances de 80 minutes avec l'appareil de Finsen, de Copenhague.

SÉANCE DU 20 DÉCEMBRE 1901.

Présidence de M. A. Cornu.

Sont élus membres de la Société :

MM. Commanay, Professeur au Lycée de Coutances.
Dufour, Agrégé Préparateur à l'École Normale supérieure;
Gaillard (Léon), Élève à l'École d'Électricité.

Sont élus membres de la Commission chargée de vérifier les comptes de l'Exercice 1900-1901 : MM. Gay, Girardet et Vieille.

Sur l'observation de la réfraction conique intérieure ou extérieure, par M. Raveau.

1. Un faisceau de rayons émanés d'un point lumineux donne naissance, à la sortie du cristal, à un second faisceau qui comprend un cylindre C et un cône Γ. Ce cône et ce cylindre se coupent suivant deux courbes sensiblement planes, dont l'une, vu la très faible inclinaison des génératrices du cône sur celles du cylindre, est très voisine de la ligne de contact de chacune de ces surfaces avec une des nappes de la surface caustique des rayons émergents. Cette courbe est sur la nappe du cône qui s'ouvre du côté de la source. Quand on projette un petit trou à travers une lame cristalline, il faut, pour obtenir une ligne brillante circulaire, que le rayon central du faisceau éclairant soit dirigé suivant l'axe optique; ce qu'on observe alors, c'est la ligne de contact du cylindre avec la caustique; la réfraction conique extérieure, dont la considération permet de se rendre compte très simplement de la position de cette ligne, ne modifie en rien les apparences observées; l'ouverture du faisceau n'exerce, sur l'éclat et la netteté de l'image focale circulaire que l'on projette, d'autre influence que celle qu'elle aurait dans toute autre expérience.

2. Au lieu de limiter le faisceau incident qui éclaire le petit trou, il reviendrait au même de disposer une ouverture circulaire dans le plan focal de la lentille de projection; on retomberait alors sur un dispositif connu.

En déplaçant l'ouverture de façon que son centre coïncide avec l'image du sommet du cône Γ, on pourrait, au moyen d'une autre lentille, projeter une seconde focale circulaire, très voisine de la première et qui serait la ligne de contact du cône avec la caustique. Ici encore l'existence de la réfraction conique intérieure ne modifie pas les phénomènes.

3. La seconde nappe de la surface caustique présente un point singulier, qui est le sommet du cône Γ; elle est asymptote au cylindre C. Elle se réduit sensiblement, sauf à l'infini, à une ligne, car les surfaces d'onde normales aux rayons émergents admettent, comme la surface des ondes de Fresnel, un plan tangent singulier normal aux génératrices du cylindre C et les deux nappes se coupent suivant une courbe très resserrée. On observe en effet, à toute distance, sauf au voisinage immédiat du foyer de la lentille, une tache lumineuse très brillante au centre du champ.

Ondographe de M. Hospitalier. — *Oscillographes de M.* Blondel. — *Rhéographe de MM.* Abraham *et* Carpentier. — *Emploi de ces appareils pour la décomposition des courbes de courant. — Détermination expérimentale directe de l'amplitude et de la phase des harmoniques,* par M. H. Armagnat.

M. Armagnat présente les appareils récents destinés à observer et à enregistrer la *forme* des courants alternatifs.

La *méthode par points*, appliquée, il y a 20 ans déjà, par M. Joubert, a fourni des renseignements très importants sur les courants alternatifs. M. Blondel, en 1891, l'a rendue automatique et M. Hospitalier, par des perfectionnements intéressants, est arrivé à créer un nouvel appareil, l'*ondographe*, capable de rendre de grands services.

Dans l'*ondographe*, un contact instantané s'établit entre l'alternateur étudié et un condensateur; celui-ci, chargé au potentiel qui correspond à la position de contact, se décharge ensuite dans un galvanomètre enregistreur. En donnant au point de contact un mouvement retardé par rapport au mouvement de l'alternateur, on arrive à prendre la valeur du potentiel à chaque point de la période, et le galvanomètre enregistreur trace la courbe $I = f(t)$, comme si la période du courant était beaucoup plus lente.

Pratiquement, le retard du contact mobile sur le courant à mesurer est obtenu à l'aide d'un rouage tel que, pour 1000 périodes de l'alternateur, le contact fait seulement 999 tours. Comme le tambour sur lequel se fait l'enregistrement est commandé par le même moteur synchrone qui fait tourner le contact, les tracés successifs des périodes consécutives se superposent exactement, ce qui permet d'employer un seul appareil pour enregistrer successivement diverses courbes : intensité, différence de potentiel, etc., avec leur différence de phase réelle. M. Hospitalier a fait fonctionner lui-même son appareil devant la Société à la fin de la séance.

M. Blondel, trouvant la méthode par points insuffisante pour certaines recherches, s'est attaché à l'étude des galvanomètres capables de suivre les variations plus rapides des courants alternatifs industriels. L'étude théorique de la question l'a conduit, en 1893, à énoncer les principes devant servir de base dans la construction de ces appareils, dont il réalisa à cette époque un premier modèle. C'est par la réduction à la limite de l'inertie des organes mobiles, de façon que la période propre du galvanomètre soit *très petite*, devant la période du courant à mesurer, que M. Blondel a résolu le problème.

Les appareils de cette nature, auxquels M. Blondel donne le nom d'*oscillographes*, sont de deux sortes : galvanomètres à lame de fer vibrante et galvanomètres bifilaires.

L'appareil à lame de fer, étudié par M. Blondel, avec le concours de M. Dobkévitch, et construit par M. Carpentier, est l'appareil industriel par excellence. Il rappelle le galvanomètre à lame de fer doux de M. Marcel Deprez, avec cette différence que la palette de fer oscillant sur deux pivots est remplacée par une très mince et très étroite lame de fer doux, tendue sur deux chevalets et placée entre les pôles d'un aimant permanent; une bobine, perpendiculaire aux lignes de force de l'aimant, tend à faire dévier la lame de fer. L'action directrice de l'aimant s'ajoute à la rigidité de la lame de fer pour lui donner une période de vibration propre extrêmement rapide. Un très petit miroir fixé à la lame réfléchit un rayon lumineux envoyé par une lampe et permet d'observer la déviation. Un miroir, commandé par un moteur synchrone, donne au rayon réfléchi un mouvement rectiligne uniforme, de sorte que la combinaison des deux mouvements donne exactement la courbe cherchée $I = f(t)$. Pour les différences de potentiel l'appareil est identique, à l'enroulement près.

Dans l'oscillographe bifilaire, construit par M. Dobkévitch, l'organe mobile est un cadre de galvanomètre Deprez-d'Arsonval, réduit à sa plus simple expression. Deux rubans plats, de quelques centièmes de millimètre de largeur, sont placés très près l'un de l'autre et traversés, en sens inverse, par le courant étudié. Ce système, placé dans un champ magné-

tique intense, tend à dévier, et un miroir collé au milieu des deux fils indique cette déviation.

Les oscillographes bifilaires sont beaucoup plus sensibles que les oscillographes à lame de fer et ils se prêtent à beaucoup d'expériences délicates, celles de l'électrophysiologie par exemple.

La solution proposée par M. Abraham diffère totalement de la précédente, et l'appareil qu'il a réalisé, avec M. Carpentier, part d'un tout autre principe. Le *rhéographe* est caractérisé par ce fait que l'oscillation propre du galvanomètre est beaucoup *plus longue* que la période du courant à étudier. En outre, comme il n'est pas possible de négliger l'action de l'amortissement et celle du couple de torsion du galvanomètre, M. Abraham *compense* les deux facteurs au moyen d'un dispositif de transformateurs et de résistances. Cette compensation se fait *expérimentalement*, par l'observation d'un courant périodiquement interrompu.

Le rhéographe est composé d'un galvanomètre à cadre mobile, de petites dimensions, placé dans le champ d'un électro-aimant. La table de compensation renferme les transformateurs et une résistance. Le déplacement du point lumineux en fonctions du temps est obtenu en éclairant le galvanomètre au moyen de deux fentes croisées, l'une rectiligne, l'autre en forme de développante de cercle et tournant d'un mouvement uniforme.

Les courbes données par ces appareils montrent immédiatement la forme des courants et permettent de voir quelles perturbations apportent les différents facteurs. Si nettes qu'elles soient, ces courbes sont affectées par les perturbations non périodiques, de sorte qu'il est impossible de leur appliquer les moyens d'analyse graphique qui permettraient de s'en servir pour déterminer l'équation du courant.

Un courant alternatif peut toujours être représenté par une série de Fourier, de sorte que, si l'on peut déterminer l'*amplitude* et la *phase* de chacun des termes, l'équation se trouve établie. M. Armagnat a repris la méthode de résonance, proposée en 1893 par M. Pupin, en se servant des oscillographe et rhéographe; il a pu ainsi obtenir les deux facteurs cherchés, tandis que la méthode originale donnait seulement l'amplitude.

La méthode de Pupin consiste à envoyer le courant à étudier, ou une dérivation de ce courant, dans un *résonateur* formé d'une bobine de self-induction L et d'un condensateur C, reliés en série. En agissant sur L ou sur C, chaque fois que la période d'oscillation du résonateur est égale à celle d'un des harmoniques, le courant qui traverse le résonateur passe par un maximum dont la valeur indique l'amplitude de l'harmonique visé, tandis que le produit $2\pi\sqrt{LC}$ donne la *période*.

Avec l'oscillographe, ou le rhéographe, l'observation de la résonance est des plus faciles. En faisant varier L et C, on observe des courbes de formes très variables, mais dès que l'on approche de la résonance, ces courbes deviennent plus régulières et finissent par être d'amplitude uniforme, sans ventres ni nœuds. Le *nombre* des oscillations observées indique l'ordre de l'harmonique, son amplitude est proportionnelle à l'amplitude des courbes. Il suffit de connaître la *résistance ohmique* du circuit; la capacité et la self-induction peuvent être quelconques.

De plus, au moment de la résonance, le courant observé est en *phase* avec l'harmonique étudié, de sorte que si, avec un appareil double, on observe simultanément la courbe du courant et l'harmonique, on peut mesurer très facilement la phase de ce dernier.

Pour les mesures d'intensité, la même méthode s'applique aisément à l'aide d'un transformateur sans fer; la phase mesurée est simplement retardée d'un quart de période.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1901.

Actes de la Société scientifique du Chili. — T. XI, nos 1, 2 et 3, 1901; 1 vol. in-8°.

American Journal of Science. — 4e série, 2 vol. XLVI et XLVII, 1901; in-8°.

American Journal of Mathematics. — Edited by Thomas Craig with the cooporation of Simon Newcomb. — Published under the auspices of the Baltimore Johns Hopkins University. — Vol. XXII, 1900, nos 2, 3 et 4, et vol. XXIII, n° 1, 1901.

Annales de la Société scientifique de Bruxelles. — Vol. 4e fasc. 1900-1901; in-8°.

Anales del Observatorio astronomico-meteorologico de San Salvador. — San Salvador, La Luz, 1901.

Annalen der Physik und Chemie, neue Folge. — Band IV à VI, 1901; 3 vol. in-8°.

Annales de Chimie et de Physique. — 7e série, t. XXII et XXIII, 1901; 3 vol. in-8°.

Annales de la Faculté des Sciences de Marseille. — T. XI, fasc. 1 à 9; in-4°.

Annales de l'Observatoire national d'Athènes. — Publiées par Démétrius Eginitis, t. II. Athènes, Imp. Nationale, 1898, 1 vol. in-4°.

Annales de l'Institut météorologique de Roumanie. — Publié par S.-C. Hepitès, t. XIV, année 1898; 1 vol. in-4°.

Annales télégraphiques. — 3e série, t. XXV, 1899; in-8°.

Annales de l'Observatoire magnétique de Copenhague. — Publiées par Adam Paulsen, années 1897-1898; 1 fasc. in-4°.

Annales scientifiques de l'Université de Jassy. — T. I, 4e fasc., mars 1901; in-8°.

Annuaire pour l'an 1901 avec des Notices scientifiques. — Publié par le Bureau des Longitudes. — Paris, Gauthier-Villars et fils; in-18.

Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève. — T. XI et XII, 1901; 2 vol. in-8°.

Archives d'Électricité médicale, expérimentale et clinique. — Publiées par J. Bergonié, année 1901; 1 vol. in-8°.

Astrophysical Journal, an International Review of Spectroscopy and Astronomical Physics (Chicago). — Année 1900, vol. XIII et XIV, in-8°.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie. — Band XXV, 1901; 1 vol. in-8°.

Boletin de Obras Públicas de la República Argentina. — T. I, n°s 1 à 6. Año 1900; 3 fasc. in-8°.

Bulletin scientifique trimestriel. — Publié par l'Association amicale des Élèves et anciens Élèves de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. N°s 1 et 2, 1901; in-8°.

Bulletin de la Société belge d'Électriciens. — T. XVIII, année 1901; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société française de Minéralogie. — T. XXIV, année 1901; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société internationale des électriciens. — Année 1901; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale. — T. XIV, 4e série, 1901; 1 vol. in-4°.

Bulletin de la Société philomathique de Paris. — Compte rendu sommaire des séances, 1901; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles. — 3e série, vol. XXXVII, année 1901; 1 vol. in-8°.

Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore. — 2e série, t. XII, années 1900-1901; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse. — Mai à décembre 1901; in-8° et Programme des prix proposés en Assemblée générale le 29 mai 1901, à décerner en 1902. Mulhouse, Vve Bader et Cie, 1901; 1 vol. in-8°.

Bulletin international de l'Académie des Sciences de Cracovie. — Année 1901; 1 vol. in-8°.

Bulletin météorologique de l'Observatoire astronomique et météorologique de Belgrade (Serbie). — Publié par G.-M. Stanoïéwitch.

Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences. — T. CXXXII et CXXXIII, 1901 ; 2 vol. in-4°.

Éclairage électrique (L'). — Revue hebdomadaire des transformations électriques — mécaniques — thermiques. T. XXIX ; année 1901 ; in-4°.

Electrician (The). — Vol. XLVI et XLVII, 1900-1901 ; 2 vol. in-4°.

Électricien (L'). — Revue internationale de l'Électricité et de ses applications. — 2e série, t. XI ; année 1901 ; in-8°.

Institut météorologique de Danemark. Annuaire météorologique. — 1 vol. in-4°.

Fortschritte der Physik im Jahre 1900, II. — Braunschweig, Friedrich Wieweg und Sohn, 1899 ; 6 vol. in-4°.

Guide-Annuaire général des industries, gaz, eau, électricité. — Publié par M. Émile Fleury, 5e année. Paris, Dubuisson, 1901 ; 1 vol. in-8°.

Journal de l'École Polytechnique. — Publié par le Conseil d'instruction de cet établissement ; 2e série, 1er cahier 1895 ; 2e et 3e cahiers 1897 ; 4e cahier 1898, et 5e cahier 1899 : 5 fasc. in-4°. Paris, Gauthier-Villars.

Journal de Physique, théorique et appliquée. — Fondé par J.-Ch. d'Almeida et publié par MM. E. Bouty, A. Cornu, G. Lippmann, E. Mascart, A. Potier. 3e série, 30e année, t. X, 1901 ; 1 vol. in-8°.

Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires. — Publié par M. A. Buguet, 14e année, 1901 ; 1 vol. in-8°.

Journal of the Franklin Institute. — T. CLI et CLII, 1901 ; 2 vol. in-8°.

Journal de la Société Physico-chimique russe de Saint-Pétersbourg. — T. XXXIII, 1901 ; 1 vol. in-8°.

Journal of the Institution of Electrical Engineers including original Communications on Telegraphy and Electrical Science. — Vol. XXX, 1901 ; et Tables de 1892 à 1901 ; 2 vol. in-8°.

Journal of Physical Chemistry (Ithaca). — Vol. V, année 1901 ; in-8°.

Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales. — Edited by the Honorary Secretaries, vol. XXXIV, 1900 ; 1 vol. in-8°.

Journal de la Société Impériale technique russe. — Année 1901 ; 1 vol. in-8°.

Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. Proceedings of the section of Science. — Proceedings of the Meeting, vol. IV ; 1901 ; in-8°.

Mémoires de la Société d'Émulation du Doubs. — 7e série, vol. V, 1900. Besançon, Dodivers et Cie ; 1 vol. in-8°.

Memoirs and Proceedings of the Manchester litterary and philosophical Society. — T. XLV, part. 3 et 4 et T. XLVI, part. 1 ; in-8°.

Mémoires et Comptes Rendus des Travaux de la Société des Ingénieurs civils. — 4e série, 53e année, année 1901; 1 vol. in-8°.

Memorias y revista de la Sociedad cientifica « Antonio Alzate » (Mexico). — T. XIV, 1901; 1 vol. in-8°.

Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts. — Comité des travaux historiques et scientifiques. — **Comptes rendus du Congrès des Sociétés savantes de Paris et des départements**, tenu à Nancy en 1901. — Section des Sciences de Paris. Imprimerie Nationale, 1901, 1 br. in-8°.

Mois scientifique et industriel (Le). — Revue internationale d'informations, 3e année, 1901; 1 vol. in-8°.

Moniteur industriel. — Vol. XXVIII, année 1901; 1 vol. in-4°.

Nature (de Londres). — Année 1901; 1 vol. in-4°.

Nuovo Cimento (Il). — 4e série, vol. XIII et XIV, année 1901; 1 vol. in-8°.

Philosophical Magazine and Journal of Science. — Sixth series, vol. I et II, 1901; 2 vol. in-8°.

Physical Review. — A Journal of experimental and theoretical Physics, t. XII et XIII, 1901; 2 vol. in-8°.

Mémorial des poudres et salpêtres, publié par les soins du service des poudres et salpêtres avec l'approbation du Ministre de la Guerre. — T. X, 3e et 4e fasc. et T. XI. Paris, Gauthier-Villars, 1899-1900; 1 vol. in-8°.

Nineteenth Annual Report of the United States Geological Survey to the Secretary of the interior, 1899-1900. Part. 2, 3 et 4; in-4°. Washington, 1900.

Nautical-Meteorological Annual 1900, published by the Danish Meteorological Institute. — Kjöbenhavn, G. E. C. Gad, 1900; 1 vol. in-4°.

Popular Astronomy. — Vol. IX, 1901; in-8°. Goodsell Observatory of Carleton College Northfield, Minnesota.

Proceedings and Transactions of the Nova Scotian Institute of natural Science of Halifax. Nova Scotia.

Proceedings of the Physical Society of London. — Vol. XVIII, 1901; 1 vol. in-8°.

Proceedings of the American Academy of Arts and Science. — Vol. XXXVI, 1901; in-8°.

Proceedings of the American Philosophical Society held at Philadelphia for promoting useful knowledge. — Vol. XL, nos 165 et 166.

Proceedings of the Royal Society. — Vol. LXVIII, LXIX et LXX; 3 vol. in-8°.

Proceedings of the Royal Society of Edinburgh.

Publications of the Lick Observatory of the University of California. Printed by authority of the Regents of the University. — Vol. V, 1901. A.-J. Johnston, 1900; 1 vol. in-4°.

Report of the Superintendent of the U. S. Coast and Geodetic Survey showing the progress of the Work during the fiscal year ending with June 1897. — Washington, Government Printing office, 1898; 1 vol. in-4°.

Revue générale des Sciences pures et appliquées. — Publiée par M. Louis Olivier, 12e année, 1901; 1 vol. in-4°.

Revue industrielle (La). — Année 1901; 1 vol. in-4°.

Revue des Questions scientifiques. — Publiée par la Société scientifique de Bruxelles, année 1901; 1 vol. in-8°.

Revue de Physique et de Chimie et de leurs applications industrielles. — Publiée sous la direction scientifique de M. Schützenberger, année 1901, 1 vol. in-8°.

Royal Observatory Greenwich. — Observations, 1898; 1 vol. in-4°. Appendix II. Second Ten Year Catalogue, 1890.

Rozprawy Akademii Umiejetności. — Waziad Matematyczno-Przyrodniczy (Académie des Sciences de Cracovie). — Serya 2, t. XVIII, 1901.

Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society. — Vol. IX, 2e série, part. 2 à 4; in-4°.

Scientific Transactions of the Royal Dublin Society. — Vol. VII, 1901.

Science abstracts, Physics and electrical engineering. — Vol. IV, année 1901; in-8°.

Technology quarterley and Proceedings of the Society of Arts.— Vol. XIV, 1901; 1 vol. in-8°.

Transactions of the American Institut of Electrical Engineers. — T. X à XVII et **Proceedings of the International Congress held in the City of Chicago** August 21th, 1893; in-8°.

United States Coast and Geodetic Survey. The Transcontinental triangulation. — Special publication, n° 4, 1900. Washington, Government Printing Office, 1900; 1 vol. in-4°.

United States Geological Survey. — Twentieth Annual Report, 1898-1899, Parts 2, 3, 4, 5 et 7. — Preliminary Report on Cape Nome Gold Region, in-4°.

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.— Jahrg. 1901: 1 vol. in-8°.

Wissenschaftliche Abhandlungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. — Band III. Berlin, Julius Springer, 1900; 1 vol. in-4°.

Yerkes Observatory of the University of Chicago. — Bulletins in-8°.

Zeitschrift für Instrumentenkunde. — Années 1881 à 1901; in-8°.

Traité de Physique biologique publié sous la direction de MM. d'Arsonval, Chauveau, Gariel, Marey et G. Weiss, Secrétaire de la rédaction. T. I. Paris, Masson et Cie, 1901; 1 vol. in-8°.

Béghin (**A.**). — Règle à calculs, modèle spécial. Paris, Ch. Béranger, 1901; 1 broch. in-8°.

Bénard (**Henri**). — Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide propageant de la chaleur par convection, en régime permanent (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1901; 1 fasc. in-8°.

Berger (**Émile**). — Loupe binoculaire simple et Lunette stéréoscopique. Paris, Schleicher frères, 1900; 1 fasc. in-8°.

— Ueber stereoskopische Lupen und Brillen. (Extr. *Zeitschrift für Pyschologie*, Band 25); 1 fasc. in-8°.

Birkenmajer (**Ludwik-Antoni**). — Mikolaj Kopernik. — Czesc Pierwsza Studyanad pracami Kopernika oraz materyaly biograficzne (*Académie des Sciences de Cracovie*, 1900); 1 vol. in-4°.

Boulanger (**I.**) et **Ferrié** (**G.**). — La télégraphie sans fil et les ondes électriques. Paris, Berger-Levrault et Cie; 1 vol. in-8°.

Bouty. — Cours de Physique de l'École Polytechnique par M. J. Jamin, 2e Supplément. Progrès de l'Électricité (oscillations hertziennes. Rayons cathodiques et rayons X). Paris, Gauthier-Villars; 1 vol. in-8°.

Brizard (**Léopold**). — Recherches sur la réduction des composés nitrosés du ruthénium et de l'osmium. Thèse. Paris, Gauthier-Villars, 1900; in-8°.

Burgess (**G.-K.**). — Recherches sur la constante de gravitation (Thèse). Paris, A. Hermann, 1901; 1 broch. in-8°.

Cadiat et **Dubost.** — Électricité industrielle; 5e édition. Paris, Baudry et Cie, 1896; 1 vol. in-8°.

Cambier (**Th.**) et **Bernard** (**J.**). — La question du gaz à Paris. Projet. Distillation aux usines. Paris, 4, avenue Carnot, 1901; 1 opus. in-8°.

Charabot (**Eugène**). — Genèse des composés terpéniques dans les végétaux (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1900; in-8°.

Chevallier (**H**). — Sur les variations permanentes de résistance électrique des fils d'alliage platine-argent soumis à des variations de température (Thèse). Bordeaux, G. Gounouilhou, 1901; 1 broch. in-8°.

Clément (**E.**). — Défense contre la grêle au moyen de paragrêles électriques. — Défense du Beaujolais (Extr. des *Annales de la Société d'Agriculture, Sciences et Industrie de Lyon*, 7e série, t. IX, 1901; 1 opus. in-8°.

Congrès international de Chimie appliquée. — *Compte rendu sommaire du IVe Congrès*, par MM. Henri Moissan et François Dupont. Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Direction générale de l'exploitation. Paris, Imprimerie Nationale, 1901; 1 fasc. in-8°.

Cornu (A.). — Démonstration et usage des formules relatives au réfractomètre (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 16 septembre 1901); 1 opus. in-4°.

— Détermination des trois paramètres optiques principaux d'un cristal, en grandeur et en direction, par le réfractomètre (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 15 juillet 1901); 1 opus. in-4°.

— Sur la loi de rotation diurne du champ optique fourni par le sidérostat et l'héliostat (Extr. du *Bulletin astronomique*, février 1900); 1 opus. in-8°.

— Sur un appareil zénitho-nadiral destiné à la mesure des distances zénithales d'étoiles voisines du zénith (Extr. du *Bulletin astronomique*, octobre 1901); 1 opus. in-8°.

Cremieu (Victor). — Recherches expérimentales sur l'électrodynamique des corps en mouvement (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1901; 1 broch. in-8°.

De Metz. — Centenaire du Système métrique décimal des poids et mesures (en russe).

Demoussy (Em.). — Absorption par les plantes de quelques sels solubles (Thèse). Paris, L. Maretheux, 1899; in-8°.

Dienert (Frédéric.). — Sur la fermentation du galactose et sur l'accoutumance des levures à ce sucre (Thèse). Sceaux, E. Charaire, 1900; in-8°.

Duhem (P.). — Le potentiel thermodynamique et ses applications à la mécanique chimique et à l'étude des phénomènes électriques. (2e tirage), Paris, A. Hermann, 1895; 1 vol. in-8°.

Dvorak (V.). — Ueber die sogenannte akustische Abstossung der Resonatoren (Extr. du *Physikalische Zeitschrift*, 2. Jahrgang, n° 33, Seite 490-493); 1 opusc. in 4°.

— Verzeichnis der Veröffentlichungen aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (1887 *bis* 1900). Berlin, Julius Springer; 1 vol. in-4°.

— Die Thätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1900 (Extr. du *Zeitschrift für Instrumentenkunde*, april 1900); 1 fasc. in-8.

— Ein Vorlesungsversuch über Kapillaritat (Extr. *Physikalische Zeitschrift*, 2. Jahrg., n° 15, 1900); in-8.

— Bemerkung zu den Kreiselversuchen (Extr. *Physikalische Zeitschrift*, 2. Jahrg., n° 15, 1900); in-8°.

— Durchbohren dünnwandiger Glaskugeln (Extr. *Physikalische Zeitschrift*, 2. Jahrg., n° 15, 1900); in-8°.

Fabry (Ch.) et Perot (A.). — On a new form of interferometer (Extr. du *Astrophysical Journal*. Vol. XIII, n° 4, may 1901); 1 opus. in-8°.

— Sur les sources de lumière monochromatique (Extr. du *Journ. de Phys.*, juiilet 1900); 1 opus. in-8°.

— Mesure en longueurs d'onde de quelques étalons de longueur à bouts (Extr. des *Annales de Chimie et de Physique*, 7ᵉ série, t. XXIV, 1901); 1 opus. in-8°.

— Sur un nouveau modèle d'interféromètre (Extr. des *Annales de Chimie et de Physique*, 7ᵉ série, t. XXII, 1901); 1 opus. in-8°.

Foveau de Courmelles et Trouvé (G.). — Electrophotothérapie. Appareils nouveaux, simplification et généralisation de la méthode de Finsen (Extr. du *Bulletin de la Société Royale de Belgique*, mars 1901); 1 fasc. in-8°.

Geitler (Joseph v.). — Ueber die durch Kathodenstrahlen bewirkte Ablenkung der Magnetnadel (Extr. *Akad. der Wissenschaften in Wien*, april 1901); 1 fasc. in-8°.

Gérard (Éric). — Leçons sur l'Électricité professées à l'Institut électrotechnique Montefiore, annexe de l'Université de Liége; 6ᵉ édition. Paris, Gauthiers-Villars et fils, 1900; 2 vol. in-8°.

Gilman (Daniel-C.). — Professor Rowland, 1848-1901. An address before the officers and students of the Johns Hopkins University, assembled before the funeral, april 18, 1901; 1 fasc. in-8°.

Goedseels (P.-J.). — Étude sur les prismes à réflexions intérieures. — Bruxelles, Polleunis et Ceuterick, 1900; 1 fasc. in-8°.

— Étude sur le niveaux à bulle. — Bruxelles, Polleunis et Ceuterik, 1900; 1 fasc. in-8°.

Goldhammer (D.-A.). — Ueber die Spectralgleichung des blanken Platins (Extr. *Annalen der Physik*, Band 4, 1901); 1 fasc. in-8°.

— Ueber den Druck der Lichtstrahlen (Extr. *Annalen der Physik*, Band 4, 1901); 1 fasc. in-8°.

Goppelsroeder (Friedrich). — Capillaranalyse beruhend auf Capillaritäts- und Absorptionserscheinungen mit dem Schlusskapitel: das Emporsteigen der Farbstoffe in den Pflanzen, mit 59 Tafeln. Basel. Em. Birkhauser, 1900; 1 vol. in-8°.

Hagenbach-Bischoff (Ed.). — L'expérience de la rotation électromagnétique et l'induction unipolaire (Extr. des *Archives des Sciences physiques et naturelles*, 4ᵉ série, t. IX, janvier-février 1901); 1 fasc. in-8°.

— Vermessungen am Rhone-Gletscher während 25 Jahren, Vortrag gehalten auf dem VIII. Internationalen Geographen-Kongress in Berlin im Jahr 1899 (Sonderabdruck aus den Verhandlungen des VIII. Internationalen Geographen-Kongress in Berlin 1899). Berlin. Wilhelm Greve, 1900; 1 fasc. in-8°.

Hallopeau (**L.-A.**). — Sur quelques propriétés des paratungstates. Thèse. Paris, Gauthier-Villars, 1899; in-8°.

Hatzfeld (**Ad.**). — Les grands Philosophes, Pascal. Paris, Félix Alcan, 1901; 1 vol. in-8°.

Hemsalech (**G.-A.**). — Recherches expérimentales sur les spectres d'étincelles. Paris, A. Hermann, 1901; 1 broch. in-8°.

Hugot (**Charles**). — Recherches sur l'action du sodammonium et du potassammonium sur quelques métalloïdes. Thèse. Paris, Gauthier-Villars, 1901; 1 broch. in-8°.

Lamotte (**Marcel**). — Recherches expérimentales sur les oscillations électriques d'ordre supérieur (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1901; broch. in-8°.

Le Bayon (**J.**). — Sur un cas d'arthropathie chez un tabétique. Radiographies. Communication à la Société médicale des Praticiens (séance du 17 mai 1901). Paris, imprimerie de la Sorbonne, 1901; 1 opusc. in-8°.

Lecarme frères et **Michel**. — Catalogue n° 1. I. Radiographie. Haute fréquence. Électrothérapie. II. Télégraphie sans fil. Septembre 1901; 1 opusc. in-8°.

Leduc (**L.**). — Action des courants continus sur l'organisme vivant (Extr. des *Annales d'Electrobiologie, d'Electrothérapie et d'Electrodiagnostic*, mai-juin 1901). Paris, Alcan, 1901; 1 opusc. in-8°.

— Production électrique des rayons chimiques pour les applications médicales (Extr. des *Annales d'Electrobiologie, d'Electrothérapie et d'Electrodiagnostic*, mars-avril 1901); 1 opusc. in-8°.

— Traitement électrique des paralysies périphériques (Extr. des *Annales d'Electrobiologie, d'Electrothérapie et d'Electrodiagnostic*, novembre 1898); 1 opusc. in-8°.

— Courants intermittents de basse tension (Extr. des *Annales d'Electrobiologie, d'Electrothérapie et d'Electrodiagnostic*, mars-avril 1900); 1 opusc. in-8°.

— Introduction des substances médicamenteuses dans la profondeur des tissus par le courant électrique (Extr. des *Annales d'Electrobiologie, d'Electrothérapie et d'Electrodiagnostic*, septembre-octobre 1900); 1 opusc. in-8°.

Leduc (**L.**). — Emploi du métronome dans les applications médicales de l'électricité (Extr. des *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des Sciences,* Congrès de Paris, 1900); 1 opusc. in-8°.

— Rapport sur l'électrochimie médicale, présenté à la Section d'Electricité médicale. Congrès d'Ajaccio, 1901 (Association française pour l'avancement des Sciences).

— Introduction électrolytique des ions dans l'organisme vivant (Extr. des *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des Sciences,* Congrès de Paris, 1900); 1 opusc. in-8°.

— La tension osmotique (Extr. de la *Gazette médicale de Nantes,* mars 1901); 1 opusc. in-8°.

— Rhéostat oscillant pour la production des courants ondulés (Extr. des *Archives d'életricité médicale*); 1 opusc. in-8°.

— Modifications de l'excitabilité des nerfs et des muscles par les courants continus (Extr. des *Archives médicales*); 1 opusc. in-8°.

— Étincelle électrique globulaire ambulante (Extr. des *Comptes rendus de l'Association francaise pour l'avancement des Sciences,* Congrès de Boulogne-sur-Mer, 1899); 1 opusc. in-8°.

— Phosphorescence du verre. Sur un moyen de faire résonner les cavités sonores (Extr. des *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des Sciences,* Congrès de Boulogne-sur-Mer, 1899); 1 opusc. in-8°.

— Rayons émis par une pointe électrisée (Extr. des *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des Sciences,* Congrès de Boulogne-sur-Mer, 1899); 1 opusc. in-8°.

— Traitement électrique des paralysies périphériques. — Étude sur la machine de Wimshurst. — Bouteille de Leyde à capacité variable (Extr. de la *Gazette médicale de Nantes,* 1898); 1 opusc. in-8°.

— Détermination rapide et précise de la position des corps vus dans les tissus à l'aide de la radioscopie (Extr. de la *Gazette médicale de Nantes,* 1897); 1 opusc. in-8°.

— Traitement des affections cérébrales par le courant continu (Extr. de la *Gazette médicale de Nantes,* 1900); 1 opusc. in-8°.

— Rapport entre les variations d'excitation des nerfs et la variation de densité des courants excitateurs à différents potentiels (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* 12 mars 1900); 1 opusc. in-4°.

— Courbes d'ascension thermométriques (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* 25 mars 1901); 1 opusc. in-4°.

— Diffusion dans la gélatine (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* 17 juin 1901); 1 opusc. in-4°.

Legrand (**Emmanuel**). — Sur la conductibilité électrique de certains sels et du sodium dissous dans le gaz ammonium liquéfié (Thèse). Paris, Georges Carré et C. Naud, 1900; in-8°.

Leroy (**Émile**). — Recherches thermochimiques sur les principaux alcaloïdes de l'opium (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1900; in-8°.

Luraschi (**Araldo**). — Régularisation de la vitesse des turbines accouplées aux dynamos (Extr. du *Bulletin de l'Association des Ingénieurs-Electriciens sortis de l'Institut électrotechnique de Montefiore*). Liége, Léon de Thier, 1900); 1 fasc. in-8°.

Lussana (**Silvio**). — Sopra uno metodo per la misura della velocità di propagazione dei raggi Röntgen (Extr. des *Comunicazioni scientifiche della R. Academia dei fisiocritici*, 29 maggio 1896); in-8°.

Martinez (**P. E.**), S. J. — Màquina electrostàtica Wimshurst.

Maupeou (**L. de**). — Étude sur le choc (Extr. de la *Revue maritime* de janvier 1901). Paris, R. Chapelot et Cie, 1901; 1 fasc. in-8°.

Moitessier (**Joseph**). — Combinaisons de la phénylhydrazine avec les sels métalliques (Thèse). Montpellier, Delord-Boehm et Martial, 1900; in-8°.

Moreau. — De l'effet de Hall dans les lames métalliques infiniment minces (Extr. du *Bulletin de la Société scientifique et médicale de l'Ouest*, t. X, n° 2, 1901); 1 opusc. in-8°.

Morel (**Albert**). — Recherches sur les éthers phénoliques à fonction mixte et à fonction complexe des acides carbonique, orthophosphorique et glycolique (Thèse). Lyon, A. Rey, 1900; in-8°.

Morize (**Henrique**). — Raios cathodicos e de Röntgen, estudo theorico e experimental da descarga nos gazes rarefeitos. These de concurso a vaga de substituto da 3° secçao do curso geral. Rio de Janiero, *Gazeta de Noticias*, 1898; 1 fasc. in-8°.

Nolet (**P.**) — De la surchauffe et du surchauffeur Schwoerer. Résultats pratiques. Bruxelles, F. Tilbury, 1901; 1 broch. in-8°.

Offret (**Albert**). — De la variation, sous l'influence de la chaleur, des indices de réfraction de quelques espèces minérales dans l'étendue du spectre visible (Extr. du *Bulletin de la Société française de Minéralogie*). Paris, Chaix, 1891; 1 vol. in-8°.

Paulsen (**Adam**). — Résultat de quelques mesures, faites par M. Scheiner, de parties correspondantes des spectres de l'aurore polaire et de la lumière cathodique de l'azote. (Extr. du *Bulletin de l'Académie des Sciences et des Lettres de Danemark*, 1901); 1 fasc. in-8°.

Pellat (**H.**). — Complément au Mémoire ayant pour titre : Polarisation réelle des diélectriques, conséquence de cette polarisation (Extr. des *Annales de Chimie et de Physique*, décembre 1899); 1 opusc. in-8°.

Pellat (**H.**). — Contribution à l'étude des stratifications (Extr. des *Comptes rendus*, février 1900); 1 opus. in-8°.

— Cours d'Électricité (Cours de la Faculté des Sciences de Paris). T. I : Électrostatique. Lois d'Ohm. Thermo-électricité. Paris, Gauthier-Villars, 1900; 1 vol. in-8°.

— Mesure du pouvoir rotatoire du sucre; sa variation avec la température et la longueur d'onde (Extr. des *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XXIII, juillet 1901); 1 opus. in-8°.

— Sur une expérience d'oscillation électrique (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 13 mai 1901); 1 opus. in-4°.

— Réflexions au sujet de l'univers et des lois naturelles (Extr. du *Journal de Physique théorique et appliquée*, avril 1901); 1 fasc. in-8°.

Recueil de Travaux offerts par les auteurs à H.-A. Lorentz, Professeur de Physique à l'Université de Leiden, à l'occasion du 25e anniversaire de son doctorat, le 11 décembre 1900. La Haye, Martinus Nijhoff, 1900; 1 vol. in-8°.

Rey de Pailhade (**J.**) — Principe de l'emploi de la division décimale du jour aux mesures électromagnétiques. Toulouse, Lagarde et Sebille, 1901; 1 opus. in-8°.

Rowland (**Henry A.**). — A Preliminary Table of solar spectrum Wave-Lengths (Reprinted from the *Astrophysical Journal*, 1895 et 1897); broch. in-8°.

— On a Table of Standard Wave-Lengths of the Spectral Lines (Extr. des *Memoirs of the American Academy of Arts and Sciences*, Vol. XII, n° 11).

Schiller (**N.**). — Der Begriff des thermischen Verkehrs als Grundlage des zweiten thermodynamischen Hauptsatzes (Extr. *Ann. der Phys.*, Band VI, 1901); 1 fasc. in-8°.

— Zur Thermodynamik gesättigter Lösungen (Extr. *Ann. der Phys.*, Band V, 1901; fasc. in-8°.

Spring (**W**). — Sur l'illumination de quelques verres (Extr. des *Bull. de l'Acad. royale de Belgique*, n° 12, 1900); 1 fasc. in-8°.

— Quelques expériences sur la perméablité de l'argile (Extr. des *Annales de la Société géologique de Belgique*, t. XXVII, 1901); 1 fasc. in-8°.

Tombeck (**Daniel**). — Recherches sur les combinaisons des sels métalliques avec les amines aromatiques (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1900; in-8°.

Turpain (**A.**). — Étude comparative de diverses formes de l'interrupteur de Wehnelt (Extr. des *Procès-verbaux de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*. Séance du 25 janvier 1900); 1 broch. in-8°.

Turpain (**A.**). — Application des ondes électriques à quelques problèmes simples de télégraphie. Transmission duplex, téléphonie et télégraphie simultanées (Extr. du *Journal de Physique théorique et appliquée*, août 1900); 1 fasc. in-8°.

— Dispositifs simples de cohéreurs à cohésion magnétique (Extr. des *Comptes rendus de l'Association pour l'avancement des Sciences*, Congrès de Paris, 1900); 1 fasc. in-8°.

— Essai critique sur les théories de la radioconduction (Extr. de *l'Éclairage électrique*, 13 avril 1901); 1 fasc. in-4°.

— Recherches expérimentales sur les oscillations électriques. Paris, A. Hermann, 1899; 1 broch. in-8°.

— Étude expérimentale sur le résonateur de Hertz (Extr. des *Archives néerlandaises des Sciences exactes et naturelles*, 1900); 1 fasc. in-8°.

— Les applications pratiques des ondes électriques : Télégraphie sans fil. — Télégraphie avec conducteur. — Éclairage commandé à distance. Paris, C. Naud, 1902; 1 vol. in-8°.

Valeur (**Armand**). — Contribution à l'étude thermochimique des quinones. Recherches sur la constitution des quinhydrones (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1899; in-8°.

Vincent (**Georges**). — Sur l'épaisseur des couches de passage (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1899; in-8.

Vittenet (**Henri**). — Contribution à l'étude des carbimides et des carbamides aromatiques simples et substituées et de quelques-uns de leurs dérivés (Thèse). Lyon, A. Rey, 1900; in-8°.

Weiss (**Pierre**). — Sur un nouveau cercle à calculs (Extr. des *Comptes rendus de l'Acad. des Sc.*, 31 décembre 1900); 1 fasc. in-4°.

Witz (**Aimé**). — Les moteurs à gaz et à pétrole et les gazogènes à l'Exposition universelle de 1900 (Extr. de la *Revue technique de l'Exposition universelle de* 1900). Paris, E. Bernard et Cie, 1901; 1 fascicule in-8°.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1902.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, PARIS (6e).

(1902.)

BUREAU.

MM. POINCARÉ (H.), *Président.*
GARIEL (C.-M.), *Vice-Président.*
ABRAHAM (H.), *Secrétaire général.*
DONGIER (R.), *Secrétaire.*
PERRIN (J.), *Vice-Secrétaire.*
DE LA TOUANNE, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :

MM. LAURIOL (P.). 1900.
TEISSERENC DE BORT.
TROOST.
WEISS (G.).

BERTHELOT (D.). 1901.
BOURGEOIS (R.).
HALLER (A.).
LEMOINE (G.).

BENOIST (L.). 1902.
PELLIN (P.).
RAVEAU (C.).
RIBAN (J.).

Membres non résidants :

MM. BJERKNES (Stockholm). 1900.
BOUASSE (Toulouse).
COPPET (DE) (Lausanne).
WEISS (P.) (Lyon).

RYKATCHEW (Saint-Pétersbourg). 1901.
CHARPENTIER (Nancy).
DU BOIS (Berlin).
HOULLEVIGUE (Caen).

BOSE (Calcutta). 1902.
SAGNAC (Lille).
SPRING (Liége).
TURPAIN (Poitiers).

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873. MM. FIZEAU.
1874. BERTIN.
1875. JAMIN.
1876. QUET.
1877. BECQUEREL (Ed.).
1878. BLAVIER.
1879. BERTHELOT.
1880. MASCART.
1881. CORNU.
1882. GERNEZ.
1883. JANSSEN.
1884. POTIER.
1885. MAREY.
1886. SEBERT.
1887. WOLF.
1888. ROMILLY (de).
1889. MASCART.
1890. MALLARD.
1891. FRIEDEL.
1892. VIOLLE.
1893. LIPPMANN.
1894. JOUBERT.
1895. CAILLETET.
1896. BOUTY.
1897. BECQUEREL (H).
1898. BENOIT (R.)
1899. BASSOT.
1900. CORNU.
1901. PELLAT.

MM. ALMEIDA (d'), *Secrétaire général, Fondateur* (1873-1880).
JOUBERT, *Secrétaire général honoraire* (1880-1890).
PELLAT, *Secrétaire général honoraire* (1891-1898).
POINCARÉ (L.), *Secrétaire général honoraire* (1899-1900).
NIAUDET, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1875-1882).
MAURAT, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1883-1890).
GAY, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1891-1898).

MEMBRES HONORAIRES (¹).

MM. **STOKES** (G.-G.), Professeur à l'Université de Cambridge (Angleterre).
KELVIN (Lord), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).
BELL (Alex. Graham), de Washington (États-Unis).
BERTHELOT (M.), Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, Membre de l'Académie Française.
JANSSEN (J.), Membre de l'Institut.
MASCART (E.-E.-N.), Membre de l'Institut.
POTIER (A.), Membre de l'Institut.
VAN DER WAALS (G.-D.), Professeur à l'Université d'Amsterdam (Hollande).

DONATEURS (²).

	fr.
COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI (Baron d'EICHTHAL)	2000
COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI	1000

(¹) *Membres honoraires décédés :*

MM. A. BECQUEREL.	1874-78.
V. REGNAULT.	1876-78.
SECCHI.	1876-78.
BILLET.	1876-82.
PLATEAU.	1880-83.
JAMIN.	1882-86.
EDLUND.	1884-88.
BROCH.	1878-89.
JOULE.	1878-89.
HIRN.	1890-90.
ED. BECQUEREL.	1882-91.
FIZEAU.	1873-96.
BERTRAND.	1890-1900.
ROWLAND.	1893-1901.
CORNU.	1895-1902.

EXTRAIT DES STATUTS : Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'Étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(²) Les noms des personnes qui auront donné à la Société une somme supé-

		fr.
MM.	**GUEBHARD**, Agrégé des Facultés de Médecine (pour l'amélioration de la Bibliothèque).....................	10000
	ANONYME (pour aider à la publication du volume des *Constantes*)....................................	5000
	JENNESSON, Principal de Collège (Legs)..............	500
	ANONYME (Solde des comptes de la Société chez MM. Gauthier-Villars et fils)........................	5547,50
	BISCHOFFSHEIM, Membre de l'Institut................	1500
	SAUTTER et **LEMONNIER**, Une machine dynamo.	
	JEUNET, Ancien Professeur au Lycée d'Angoulême.....	500
	ROTHSCHILD (**Baron Edmond de**)..................	300
	CANET..	300
	MARTIN (**Ch.**), de Chartres (Legs)................	1000
	ANONYME (pour la publication du tome I des *Données numériques*).....................................	11000
	ANONYME (pour la publication du tome II des *Données numériques*).....................................	9600
	GAUTHIER-VILLARS (pour la publication du tome I des *Données numériques*).........................	850,25
	GAUTHIER-VILLARS (pour la publication du tome II des *Données numériques*).........................	734,25
	COPPET (**de**) (pour la publication des *Données numériques*)	1000
	ANONYME (pour aider à la publication du tome III des *Données numériques*).........................	6000
	ANONYME (pour aider à la publication des Mémoires).	5000

MEMBRES A VIE [1].

MM. * D'Abbadie, Membre de l'Institut.

Abraham (Henri), Maître de Conférences à l'École Normale Supérieure, 45, rue d'Ulm, Paris, 5e.

* Abria, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

* D'Almeida, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.

---

rieure ou égale à 500 francs resteront inscrits, avec le chiffre de la donation, immédiatement après les Membres honoraires, et avant les Membres à vie, sous le titre de Donateurs. Les Membres à vie pourront acquérir ce titre en ajoutant une somme de 300 francs à leur souscription perpétuelle. (Décision du Conseil du 1er décembre 1891.)

[1] Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État, et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (Statuts, art. 3, dernier paragraphe.)

* Membres décédés.

MM. * Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique.

Amagat, Membre de l'Institut, Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 19, avenue d'Orléans. Paris, 14e.

Angot, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, Professeur à l'École Nationale Agronomique, 12, avenue de l'Alma. Paris, 8e.

Arnoux (René), Ingénieur civil, 45, rue du Ranelagh. Paris, 16e.

Arsonval (Dr d'), Membre de l'Institut, professeur au Collège de France, 12, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

Aubert, Professeur au Lycée Condorcet, 139, rue de Rome. Paris, 8e.

Babinski, Ingénieur civil des Mines, 170 *bis*, boulevard Haussmann. Paris, 8e.

Baille, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf. Paris, 10e.

Baume-Pluvinel (comte de la), 17, rue de Constantine. Paris, 7e.

Bandsept (Albert), Ingénieur, 28, avenue de la Couronne, à Bruxelles (Belgique).

Bardy (Charles), Directeur honoraire du service scientifique des Contributions indirectes, 30, rue de Miromesnil. Paris, 8e.

* Baron, ancien Directeur à l'Administration des Postes et des Télégraphes.

Bassée (Jules-Charles), Constructeur d'instruments de Physique, 37, boulevard Bourdon. Paris, 4e.

Becquerel (Henri), Membre de l'Institut, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

Becquerel (Jean), élève Ingénieur à l'École des Ponts et Chaussées, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

Benoit (René), Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

Bertin, Directeur du matériel au Ministère de la Marine, 8, rue Garancière. Paris, 6e.

Bienaymé, Inspecteur général du Génie maritime en retraite, à Toulon (Var).

Bischoffsheim (Raphaël-Louis), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout. Paris, 9e.

Bjerknes (Wilhelm), chargé de Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

* Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

Bloch (Eugène), Agrégé, Préparateur de physique au Collège de France. Paris, 5e.

Blondel, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 41, avenue de La Bourdonnais. Paris, 7e.

Blondin, Professeur au Collège Rollin, 171, rue du Faubourg-Poissonnière. Paris, 9e.

MM. Blondlot, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Boitel, Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux (Seine).

Bordé (Paul), Ingénieur-opticien, 29, boulevard Haussmann. Paris, 9e.

Bordet (Lucien), ancien Inspecteur des Finances, ancien élève de l'École Polytechnique, Administrateur de la Cie des forges de Châtillon et de Commentry, 181, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

Bourgeois (Léon), Dr ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri IV. Paris, 4e.

Bouty, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce. Paris, 5e.

Branly (Dr E.), Professeur à l'École libre des Hautes-Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville. Paris, 7e.

* Bréguet (Antoine), Ancien élève de l'École Polytechnique.

Brewer, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain. Paris, 5e.

Brillouin, Professeur au Collège de France, 31, boulevard de Port-Royal. Paris, 13e.

* Brion, Professeur au Lycée Saint-Louis.

* Brisse (Ch.), Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, Répétiteur à l'École Polytechnique.

Broca (Dr André), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau. Paris, 7e.

Brunhes (Bernard), Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, Directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme.

* Buchin, Ingénieur électricien.

* Cabanellas, Ingénieur électricien.

Cadot, Professeur au Lycée Carnot, 145, boulevard Malesherbes. Paris, 17e.

Cailho, Ingénieur des Télégraphes, 111, rue Mozart. Paris, 16e.

Canet, Directeur de l'Artillerie des forges et chantiers de la Méditerranée, 1, boulevard Malesherbes. Paris, 8e.

Carpentier (Jules), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg. Paris, 6e.

Carimey, Professeur au Lycée Saint-Louis. Paris, 6e.

Carvallo, Examinateur des élèves à l'Ecole Polytechnique, 1, rue de Clovis. Paris, 5e.

Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine, 30, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

* Cauro (Joseph), Docteur ès sciences, Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Chabaud (Victor), Constructeur d'instruments de Physique, 58, rue Monsieur-le-Prince. Paris, 6e.

Chairy, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 60, rue du Ranelagh. Paris, 6e.

MM. Chancel (Félix), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

* Chautard, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille.

Chauveau, Ancien Élève de l'École normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau Central, 51, rue de Lille. Paris, 7e.

Chaves (Antonio-Ribeiro), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janerio (Brésil).

* Chervet, Professeur au Lycée Saint-Louis.

Claverie, Censeur au Lycée Condorcet, 65, rue Caumartin. Paris, 9e.

Clément (Louis), 18, rue Louis-le-Grand. Paris, 2e.

Colardeau (Emmanuel), Professeur au Collège Rollin, 13, rue de Navarin, Paris, 9e.

Compagnie des chemins de fer du Midi, 54, boulevard Haussmann. Paris, 9e.

Compagnie des Salins du Midi, 84, rue de la Victoire. Paris, 9e.

* Contal, Préparateur de Physique au Collège Rollin.

Coppet (de), villa de Coppet, rue Magnan, à Nice (Alpes-Maritimes).

* Cornu (A.), Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique.

Culmann (Paul), Docteur ès sciences, 28, rue Vauquelin. Paris, 5e.

Curie (Pierre), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 108, boulevard Haussmann. Paris, 13e.

Dambier, Professeur au Collège Stanislas, 44, rue de Fleurus. Paris, 6e.

Defforges (Colonel G.), commandant le 36e régiment d'Infanterie, 12, rue Saint-Gabriel, Caen (Calvados).

Delebecque, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon (Haute-Savoie).

Diot, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet. Paris, 17e.

* Dollfus (Eugène), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Mulhouse (Alsace).

Drouin (Félix), 100, rue de Courcelles, à Levallois-Perret (Seine).

* Duboscq (Jules), Constructeur d'instruments de Physique.

Duclaux, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, 39, avenue de Breteuil. Paris, 7e.

Duclos, Ancien Directeur d'École normale à Cérisols, par Fabut (Ariège).

Dufet, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète. Paris, 5e.

Dumoulin-Froment, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

Durand, Préparateur à la Faculté des Sciences, 50, rue Monge. Paris, 5e.

Dybowski, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg. Paris, 12e.

Engel, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 35, avenue de Breteuil Paris, 7e.

MM. Faivre-Dupaigre, Professeur au Lycée Saint-Louis, 95, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

Favé, Ingénieur hydrographe en chef de la Marine, 1, rue de Lille. Paris, 7e.

Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

Fontaine (Hippolyte), Ingénieur électricien, à Port-Marly (Seine-et-Oise).

Foussereau, Docteur ès sciences, 5, place de Jussieu. Paris, 5e.

Foveau de Courmelles (Dr), 26, rue de Châteaudun. Paris, 9e.

Fredet (Henri), Industriel, à Brignoud (Isère).

* Friedel, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Galimard, Industriel, à Flavigny-sur-l'Ozerain (Côte-d'Or).

Gall (Henry), Directeur de la Société d'Électrochimie, 5, rue Albert-Joly, à Versailles (Seine-et-Oise).

Gariel (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille. Paris, 17e.

Gascard (A.), Professeur à l'École de Médecine, Pharmacien des hôpitaux, 33, boulevard Saint-Hilaire, à Rouen (Seine-Inférieure).

* Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur.

Gay (Jules), Examinateur à l'École Militaire de Saint-Cyr, 16, rue Cassette. Paris, 6e.

Gayon, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 7, rue Dufour-Dubergier, à Bordeaux (Gironde).

Gernez, Maître de conférences à l'École normale supérieure, 80, rue d'Assas. Paris, 6e.

Godard (Léon), Docteur ès sciences, 28, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

Godefroy (l'abbé), Ancien Professeur de Chimie à l'Institut catholique.

Godron (H.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 52, quai du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).

Goloubitzky, Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

* Gotendorf (Silvanus).

Gouré de Villemontée, Docteur ès Sciences, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy. Paris, 5e.

Gramont (Arnaud de), Docteur ès sciences, 81, rue de Lille. Paris, 7e.

Gray (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works Co limited, à Londres (Angleterre).

Grosseteste (William), Ingénieur, 67, avenue Malakoff. Paris, 16e.

Grouvelle, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

MM. GUÉBHARD (D[r] Ad.), Agrégé des Facultés de Médecine, à Saint-Vallier-de-Thiey (Alpes-Maritimes).

* HUGO (comte Léopold).

HAMY (Maurice), Astronome adjoint à l'Observatoire, 16, rue de Bagneux. Paris, 6[e].

HEMPTINNE (Alexandre DE), 56, rue de la Vallée, à Gand (Belgique).

HUSSON (Léon), Contrôleur du câble télégraphique, à Haïphong (Tonkin).

INFREVILLE (Georges D'), Électricien de la *Western Union Telegraph*, Expert de la *National Bell Telephone C°*, 110, Liberty Street, New-York (États-Unis).

* JAMIN, Membre de l'Institut.

JANET (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité, 6, rue du Four. Paris, 6[e].

JAVAL, Membre de l'Académie de Médecine, 5, boulevard La Tour-Maubourg. Paris, 7[e].

JAVAL (Jean), 5, boulevard La Tour-Maubourg. Paris, 7[e].

JAVAUX (Émile), Administrateur-Directeur de la Société *Gramme*, 20, rue d'Hautpoul. Paris, 19[e].

* JENNESSON, Ancien Principal.

JÉNOT, Professeur honoraire au Collège Rollin, 17, rue Caulincourt. Paris, 18[e].

JEUNET, Professeur honoraire, 15, avenue de la Défense-de-Paris. Puteaux (Seine).

JOBIN (A.), Ancien Élève de l'École Polytechnique, successeur de M. Laurent, 21, rue de l'Odéon. Paris, 6[e].

* JOLY, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.

JOUBERT, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet. Paris, 15[e].

* KERANGUÉ (Yves DE), Capitaine en retraite.

KNOLL, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand. Paris, 5[e].

KŒCHLIN (Horace), Chimiste, 19, avenue du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).

KORDA (Désiré), Ingénieur Chef du service électrique de la Compagnie de Fives-Lille, 64, rue Caumartin. Paris, 9[e].

KOROLKOFF (Alexis), Lieutenant-Colonel d'Artillerie russe, Professeur de physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg (Russie).

KROUCHKOLL, Docteur ès sciences et Docteur en médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 6, rue Édouard-Detaille Paris, 17[e].

LACOUR, Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère. Paris, 17[e].

LAURENT (Léon), Ancien constructeur d'instruments d'optique, 21, rue de l'Odéon. Paris, 5[e].

LAPRESTÉ, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet. Paris, 15[e].

MM. Leyréville, Inspecteur de l'Académie de Paris, 14, rue Soufflot. Paris, 5e.

Le Bel, Ancien Président de la Société chimique, 25, rue Franklin. Paris, 16e.

Leblanc, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin-Anglais, au Raincy (Seine).

* Lechat, Professeur honoraire du Lycée Louis-le-Grand.

Le Chatelier (André), Ingénieur en chef de la Marine, 331, rue Paradis, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Le Chatelier (Henry), Ingénieur des Mines, Professeur au Collège de France et à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

Le Chatelier (Louis), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, rue Bara. Paris, 5e.

* Le Cordier (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

Leduc, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 84, boulevard Saint-Michel.

Lefebvre (Pierre), Professeur au Lycée, 67, boulevard Faidherbe, à Douai (Nord).

* Lemoine (E.), Ancien Élève de l'École Polytechnique.

* Lemonnier, Ancien Elève de l'Ecole Polytechnique.

Lemström (Selim), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

Lequeux, Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac. Paris, 2e.

Leroy, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail. Paris, 14e.

Lespiault, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

* Létang (Paul), Ingénieur électricien.

Létang (Dr Marc), 272, rue du Faubourg-Saint-Honoré, Paris, 8e.

Limb, Docteur ès sciences, Ingénieur, Conseil de la Maison Gindre frères et Cie de Lyon, 8, quai d'Occident, à Lyon.

Lippmann, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon. Paris, 5e.

Lyon (Gustave), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart. Paris, 9e.

Macé de Lépinay, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Mach (Dr E.), Professeur de Physique à l'Université de Vienne (Autriche).

Macquet (Auguste), Ingénieur au corps des Mines, Professeur à l'Ecole des Mines du Hainaut, à Mons (Belgique).

* Mallard, Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, Professeur de Minéralogie à l'École des Mines.

Maneuvrier, Directeur adjoint du Laboratoire des Recherches (Physique) à la Sorbonne. Paris, 5e.

MM. MARIE, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne. Paris, 4ᵉ.

* MARTIN (Ch.) de Chartres.

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 176, rue de l'Université. Paris, 7ᵉ.

MASSIN, Ingénieur des Télégraphes, 61, rue de Vaugirard. Paris, 6ᵉ.

* MASSON (G.), Libraire-Éditeur.

MAURAIN, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université de Rennes (Ille-et-Vilaine).

* MAURAT, Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis.

MENIER (Henry), 8, rue de Vigny. Paris, 8ᵉ.

MESLIN (G.), Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier (Hérault).

MESTRE, Ingénieur à la Cⁱᵉ des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette. Paris, 10ᵉ.

MÉTRAL (Pierre), Agrégé des Sciences Physiques, Professeur à l'École Colbert, 239 *bis*, rue Lafayette. Paris, 10ᵉ.

* MEYER (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.

MICHEL (Auguste), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy. Paris, 10ᵉ.

MOLTENI (A.), 15, rue Origet, à Tours (Indre-et-Loire).

* MONCEL (Comte DU), Membre de l'Institut.

MONTEFIORE (Lévi), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, à Liége (Belgique).

MOSER (Dʳ James), Privat-Docent à l'Université, VIII/1, Laudon-gasse, 25, à Vienne (Autriche).

MUIRHEAD (Dʳ Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court. Temple E. C., Londres (Angleterre).

NAGAOKA (H.), Docteur ès sciences, Professeur de Physique à l'Université de Tokio (Japon).

NERVILLE (DE), Ingénieur des Télégraphes, 59, rue de Ponthieu. Paris, 8ᵉ.

NOGUÉ (Émile), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas. Paris, 6ᵉ.

* NIAUDET, Ingénieur civil.

OGIER (Jules), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 49, rue de Bellechasse. Paris, 7ᵉ.

OLLIVIER (A.), Ingénieur civil, 2, rue Manuel. Paris, 9ᵉ.

OUMOFF (Nicolas), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

PALMADE, Professeur au Lycée de Montpellier (Hérault).

PALMADE (F.), Chef de Bataillon du Génie, à Toul (Meurthe-et-Moselle).

PAVLIDÈS (Démosthènes), Docteur en Médecine.

PELLAT (H.), Professeur à la Faculté des Sciences, 23, avenue de l'Observatoire. Paris, 6ᵉ.

MM. Pérard (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liége (Belgique).

* Pérot, Dessinateur et Graveur.

Pérot (Alfred), Directeur du Laboratoire d'Essai au Conservatoire national des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin. Paris, 3e.

Perreau, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Picou (R.-V.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 47, rue Saint-Ferdinand. Paris, 17e.

Piltschikoff (Nicolas), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

Poincaré (A.), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 14, rue du Regard. Paris, 6e.

Poincaré (Lucien), Inspecteur général de l'Instruction Publique, 130, rue de Rennes. Paris, 6e.

Pollard (Jules), Directeur de l'École d'Application du Génie maritime, 140, boulevard du Montparnasse. Paris, 14e.

Popp (Victor), Ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 9, rue Margueritte. Paris, 17e.

Potier, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

Poussin (Alexandre), Ingénieur, 7, rue de l'Équitation, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Pupin, Docteur en Médecine. Paris.

Puyfontaine (Comte de), 34, avenue Friedland. Paris, 8e.

* Raffard (N.-J.), Ingénieur.

Raveau (C.), Physicien au Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers, 5, rue Monge. Paris, 5e.

Raymond, Ingénieur principal des Messageries maritimes à la Ciotat (Bouches-du-Rhône).

* Raynaud, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

Renault (Albert), Chimiste, 6, rue de Lunain. Paris, 14e.

Ribière (Charles), Ingénieur des Ponts et Chaussées (Service des phares), 13, rue de Siam. Paris, 16e.

* Rigout (A.), Docteur en Médecine.

Rivière, Professeur au Lycée Saint-Louis, 123, boulevard Montparnasse. Paris, 6e.

Rodde (Ferd.), 61, rue Rochechouart. Paris, 9e.

Rodde (Léon), rua do Ouvidor, 107, à Rio de Janeiro (Brésil).

Rodocanachi (Emmanuel), 54, rue de Lisbonne. Paris, 8e.

* Roger, Chef d'institution honoraire.

Romilly (Félix de), 25, avenue Montaigne. Paris, 8e.

Romilly (Paul de), Ingénieur en chef des Mines, 7, rue Balzac. Paris, 8e.

Rothschild (baron Edmond de), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré. Paris, 8e.

Rozier (F.), Docteur en Médecine, 19, rue du Petit-Pont. Paris, 5e.

MM. SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Émile), Ingénieur à la Compagnie du gaz. 12, rue Alphonse-de-Neuville. Paris, 17e.

* SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), Membre de l'Institut.

* SALET, Maître de conférences à la Faculté des Sciences.

SCHWEDOFF, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SEBERT (le Général), Membre de l'Institut, Administrateur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 14, rue Brémontier. Paris, 17e.

SELIGMANN-LUI, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 78, rue Mozart. Paris, 16e.

SENTIS, professeur au Lycée, 17, boulevard de Bonne, à Grenoble (Isère).

SERPOLLET, Ingénieur, 9, rue de Stendhal. Paris, 20e.

SIEGLER (Jean), Élève ingénieur à l'École des Mines, 48, rue Saint-Lazare, Paris, 9e.

* SPOTTISWOODE (W.), Président de la Société royale de Londres (Angleterre).

STRAUSS, Lieutenant-Colonel Chef du Génie, 2, rue Ronchaux, à Besançon (Doubs).

STREET (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, 56, rue de Londres. Paris, 9e.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg (Russie).

TERMIER, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines, 71, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

* TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

* THOLLON, Physicien à l'Observatoire de Nice.

THOMAS, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger (Algérie).

THOUVENEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 9, rue des Arènes. Paris, 5e.

TOMBECK, Docteur ès sciences, 59, boulevard Pasteur, Paris, 15e.

TOUANNE (G. DE LA), Ingénieur des Télégraphes, 8, rue de Tournon. Paris, 6e.

TROOST, Membre de l'Institut, 84, rue Bonaparte. Paris, 6e.

TULEU, Ingénieur, 58, rue Hauteville. Paris, 10e.

VAGNIEZ (Edouard), à Amiens (Somme).

* VAN DEN KERCHOVE, Sénateur, Gand (Belgique).

* VASCHY, Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique.

VAUTIER (Théodore), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon (Rhône).

* VERRIER (J.-F.-G.).

VILLARD (P.), Docteur ès sciences, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

VILLIERS (Antoine), Professeur à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire, Paris, 14e.

VINCENT (G.), Agrégé, 8, rue l'Abbé-de-l'Épée. Paris, 5e.

MM. VIOLLE, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

WALLON (E.), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 65, rue de Prony. Paris, 17e.

* WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut.

WEISS (Dr Georges), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin. Paris, 16e.

WEISS (Pierre), Professeur à l'Institut de Physique de Zurich (Suisse).

WERLEIN (Ivan), Constructeur d'instruments d'Optique, 8, rue d'Ulm. Paris, 5e.

WETHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de machines, 36, rue Ampère. Paris, 17e.

* WUNSCHENDORFF, Ingénieur-Administrateur des Postes et des Télégraphes.

WYROUBOFF, Docteur ès sciences, 20, rue Lacépède. Paris, 5e.

WALCKENAER, Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École des Mines, 218, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

BÉCLÈRE (Dr Antoine), Médecin de l'Hôpital Saint-Antoine, 5, rue Scribe. Paris, 9e.

BERGER (Dr Emile), Membre correspondant des Académies Royales de Médecine de Belgique et de Madrid, 3, rue Anatole-de-la-Forge. Paris, 17e.

BUISSON (H.), Docteur ès sciences, Agrégé préparateur à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

COLLIN (Th.), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 123, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

DONGIER (Raphaël), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire de Physique (Enseignement) de la Faculté des Sciences, 82, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

GÉRARD (Anatole), Ingénieur électricien, 16, rue des Grandes-Carrières. Paris, 18e.

GINSBERG (Alexandre), Collaborateur scientifique de la maison Krauss.

JACOBS (Fernand), Président de la Société Belge d'Astronomie, 21, rue des Chevaliers, à Bruxelles (Belgique).

MORIZE (Henri), Ingénieur civil, Docteur ès sciences, Professeur de physique à l'École Polytechnique, rua Princeza Impérial, n° 20, Antigo, à Rio-de-Janeiro (Brésil).

PERRIN (Jean), chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 9, rue Rataud. Paris, 5e.

SAGNAC (G.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 50, rue Gauthier de Chatillon, à Lille (Nord).

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie Agronomique de Moscou (Russie).

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABRAHAM (**Henri**), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm. Paris, 5ᵉ.

ADAM (**Étienne**), Professeur au Lycée, 32, rue du Téméraire, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

ALBERTOTTI (**Guiseppe**), Professeur d'Oculistique à l'Université de Modène (Italie).

ALLAIRE (**G.**), Chef des travaux de Physique à l'École de Médecine et de Pharmacie, 2, rue Haudaudine, à Nantes (Loire-Inférieure).

ALLARD (**Félix**), Docteur en Médecine, 46, rue de Châteaudun. Paris, 9ᵉ.

ALLUARD, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

AMAGAT (**E.-H.**), Membre de l'Institut, Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 19, avenue d'Orléans. Paris, 14ᵉ.

AMES (**Joseph-S.**), Professor of Physics, Director of the Physical Laboratory. Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland (U. S. A.).

ANCEL (**Louis**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 28, avenue Raphaël. Paris, 16ᵉ.

ANDRAULT (**Louis-Gustave-Adolphe**), chargé de Cours de Physique au Lycée, 5, avenue de Veynes, à Gap (Hautes-Alpes).

ANDRÉ (**Ch.**), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Lyon (Rhône).

ANGOT (**Charles-Alfred**), Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, Professeur à l'École nationale agronomique, 12, avenue de l'Alma. Paris, 8ᵉ.

ANTHONISSEN (**Joseph**), 21, rue Hauteville. Paris, 10ᵉ.

APPERT (**Louis**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur verrier, 50, rue de Londres. Paris, 8ᵉ.

ARBEZ (**Léon**), Industriel à Oyonnax (Ain).

ARGYROPOULOS, Recteur de l'Université, à Athènes (Grèce).

ARMAGNAT, Ingénieur, 7, rue Bosio. Paris, 16ᵉ.

ARNOUX (**René**), Ingénieur civil, 45, rue du Ranelagh. Paris, 16ᵉ.

ARNOYE (**Léon**), Professeur au Lycée, 40, rue Gasseras, à Montauban (Tarn-et-Garonne).

ARSONVAL (**Dʳ d'**), Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 12, rue Claude-Bernard. Paris, 5ᵉ.

ARTH, Chargé d'un Cours de Chimie industrielle à la Faculté des Sciences, 7, rue de Rigny, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

ARTHAUD, Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 40, rue Denfert-Rochereau. Paris, 5ᵉ.

AUBEL (**Dʳ Edmond van**), Professeur à l'Université de Gand, chaussée de Courtrai, 131¹, à Gand (Belgique).

MM.

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 13, rue Bernoulli. Paris, 8e.

AUBERT (Paul), Professeur au Collège Stanislas, 2 *bis*, rue de l'Orangerie, à Meudon (Seine-et-Oise).

AUBRY (Alfred-Joseph), Professeur au Lycée de Saint-Étienne (Loire).

AUPAIX (Charles), Professeur au Lycée, 8, place Saint-Hilaire, à Niort (Deux-Sèvres).

BABINSKI (Henri), Ingénieur civil des Mines, 170 *bis*, boulevard Haussmann. Paris, 8e.

BABLON, 42, rue Boulard. Paris, 14e.

BAGARD, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 8, boulevard Thiers, à Dijon (Côte-d'Or).

BAILLAUD (B.), Doyen honoraire de la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Toulouse (Haute-Garonne).

BAILLAUD (Jules), Aide-astronome à l'Observatoire de Lyon, à Saint-Genis-Laval (Rhône).

BAILLE (J.-B.), Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, 26, rue Oberkampf. Paris, 11e.

BANDSEPT, Ingénieur, 28, avenue de la Couronne, à Bruxelles (Belgique).

BANET-RIVET (P.), Professeur au Lycée Saint-Louis, 4, rue de Siam. Paris, 16e.

BARBASTE (Antoine), Licencié ès sciences physiques, à Antrain-sur-Couesnon (Ille-et-Vilaine).

BARBÉ (Dr), 54, rue Cazault, à Alençon (Orne).

BARBILLON (Louis), Docteur ès Sciences physiques, Ingénieur électricien diplômé, 168, rue de Paris, à Vincennes (Seine).

BARDEL, Libraire, à Évreux (Eure).

BARDY (Charles), Directeur honoraire du Service scientifique des Contributions indirectes, 30, rue de Miromesnil. Paris, 8e.

BARNES (Howard-Turner), Doctor of Science, Assistant Professor of Physics, Dept. of Physics, Mc Gill University, Montreal (Canada).

BARRET (G.), Docteur en Médecine, 1, rue Lavoisier. Paris, 8e.

BARTH (Johann-Ambrosius), Libraire, Rossplatz, 17, à Leipzig (Allemagne).

BARY (Paul), Ingénieur électricien, 5, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

BASSAC, Professeur au Lycée de Marseille (Bouches-du-Rhône).

BASSÉE (Jules-Charles), Constructeur d'instruments de Physique, 37, boulevard Bourdon. Paris, 4e.

BASSET (Alphonse), Professeur au Lycée de Bourges (Cher).

BASSOT (le Général), Membre de l'Institut, Directeur du Service géographique de l'Armée, 138, rue de Grenelle. Paris, 7e.

BATTELLI (Angelo), Professeur à l'Université de Pise (Italie).

BAU, Répétiteur général au Lycée de Tunis (Tunisie).

BAUDEUF-BAYARD (Mme Henriette), Professeur au Lycée de Jeunes filles, 97, rue Bègles, à Bordeaux (Gironde).

BAUDOT (Émile), Ingénieur des Télégraphes, 70, r. du Lycée, à Sceaux (Seine).

MM.

BAUME-PLUVINEL (Comte **Aymar de la**), 17, rue de Constantine. Paris, 7e.

BEAULARD (**Fernand**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 1, rue Président Carnot, à Grenoble (Isère).

BECKER, Préparateur au Collège Rollin, avenue Trudaine. Paris, 9e.

BECLÈRE (Dr **Antoine**), Médecin de l'Hôpital Saint-Antoine, 122, rue de la Boëtie. Paris, 8e.

BÉCORDEL (**H. de**), Receveur principal, à Grasse (Alpes-Maritimes).

BECQUEREL (**Henri**), Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

BECQUEREL (**Jean**), Élève Ingénieur à l'École nationale des Ponts et Chaussées, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

BÉDART, Professeur agrégé de Physiologie à la Faculté de Médecine, 15, rue Masséna, à Lille (Nord).

BÉDOREZ, Inspecteur d'Académie, Directeur de l'Enseignement primaire du département de la Seine, 21, quai de Montebello. Paris.

BÉGHIN (**Auguste**), Professeur à l'École nationale des Arts industriels, Directeur du Laboratoire municipal, 50, rue du Tilleul, à Roubaix (Nord).

BEL (**Edgar**), Professeur au Lycée d'Oran (Algérie).

BEL (**Alexander-Graham**), 1331, Connecticut Ave., Washington, Dr C. (U. S. A.).

BELLATI (**Manfredo**), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BÉNARD (**Henri**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 35 *bis*, rue de Condé, à Lyon (Rhône).

BENAVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIST (**Louis**), Professeur au Lycée Henri IV, 26, rue des Écoles. Paris, 5e.

BENOIT (**René**), Docteur ès sciences, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres (Seine-et-Oise).

BERG (**Max**), Ingénieur de la Maison Krauss, 21, rue Albouy. Paris, 10e.

BERGER (Dr **Émile**), Membre correspondant des Académies Royales de Médecine de Belgique et de Madrid, 3, rue Anatole-de-la-Forge. Paris, 17e.

BERGET (**Alphonse**), Docteur ès sciences, attaché au Laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne, 16, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

BERGON, Directeur au Ministère des Postes et Télégraphes, 9, rue de Condé. Paris, 6e.

BERGONIÉ (**Dr**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine, 6 *bis*, rue du Temple, à Bordeaux (Gironde).

BERGONIER (**G**), Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 29, rue Tastet, à Bordeaux (Gironde).

BERLEMONT, Constructeur d'instruments de précision, 11, rue Cujas. Paris, 5e.

BERNARD (**Alfred**), Professeur en retraite, 16, rue Héliot, à Toulouse (Haute-Garonne).

MM.

BERNARD, Professeur au Collège d'Apt (Vaucluse).

BERNARD (Louis), Professeur au Lycée, 21, rue Saint-Éloi, à Orléans (Loiret).

BERSON, Professeur au Lycée Condorcet, 15, rue Guy-de-la-Brosse. Paris, 5e.

BERTHELOT, Sénateur, Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 3, rue Mazarine. Paris, 6e.

BERTHELOT (Daniel), Docteur ès sciences, Assistant au Muséum, 3, rue Mazarine. Paris, 6e.

BERTIN, Directeur des Constructions navales au Ministère de la Marine, 8, rue Garancière. Paris, 6e.

BERTIN-SANS (Dr Henri), Professeur, agrégé de la Faculté de Médecine, 3, rue de la Merci, à Montpellier (Hérault).

BESOMBES (Noël), Directeur des Postes et des Télégraphes, à Nîmes (Gard).

BESSON (Léon), Ancien Officier de Marine, Chef de l'Agence à la Compagnie générale transatlantique, à Alger (Algérie).

BÉTOUX (Victor), Professeur au Lycée, 22, boulevard Saint-André, à Beauvais (Oise).

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS.

BIBLIOTHÈQUE DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES.

BIBLIOTHÈQUE DES FACULTÉS DE CAEN.

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE DE LILLE.

BIBLIOTHÈQUE DE L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE.

BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.

BICHAT, Correspondant de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences, 6, rue des Jardiniers, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

BIED (Jules), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Directeur du Laboratoire de la Société J. et A. Pavin de Lafarge, Le Teil (Ardèche).

BIENAYMÉ (A.-F.-A.), Inspecteur général du Génie maritime, en retraite, Correspondant de l'Institut, 14, rue du Revel, à Toulon (Var).

BIGET (Albert), Percepteur des Contributions directes, à Bologne (Haute-Marne).

BIRKELAND (Kristian), Professeur à l'Université de Christiania (Norvège).

BISCHOFFSHEIM (Raphaël-Louis), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout. Paris, 9e.

BJERKNES (Vilhelm), Chargé de Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

BLAREZ (le Dr), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 3, rue Gouvion, à Bordeaux (Gironde).

BLOCH (Salvador), Professeur au Lycée Saint-Louis, 13, rue de l'Estrapade. Paris, 5e.

BLOCH (Eugène), Agrégé, Préparateur de Physique au Collège de France. Paris, 5e.

BLONAY (Roger de), 23, rue de La Rochefoucauld. Paris, 9e.

BLONDEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 41, avenue de la Bourdonnais. Paris, 7e.

MM.

BLONDIN (**Joseph**), Professeur au Collège Rollin, 171, rue du Faubourg-Poissonnière. Paris, 9e.

BLONDLOT (**R.**), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

BLUMBACH (**Theodor**), Membre de la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Empire de Russie, Perspective de Zabalkousky, à Saint-Pétersbourg (Russie).

BOBILEFF, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOCAT (l'abbé), Licencié ès sciences physiques, Professeur au Collège Saint-François-de-Sales, rue Vannerie, à Dijon (Côte-d'Or).

BODOLU (**de**), Professeur de Géodésie à l'École Polytechnique de Budapest (Hongrie).

BOISARD (**Louis**), Professeur au Lycée Carnot, 129, avenue de Wagram, Paris, 17e.

BOITEL (**Louis-Albert**). Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux (Seine).

BOMEL (**Léger**), au grand Séminaire de Meaux (Seine-et-Marne).

BONAPARTE (Prince **Roland**), 10, avenue d'Iéna. Paris, 16e.

BORDÉ (**Paul**), Ingénieur opticien, 29, boulevard Haussmann. Paris, 9e.

BORDENAVE (**L.**), Ingénieur à l'usine Ménier, à Noisiel-sur-Marne (Seine-et-Marne).

BORDET (**Lucien**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, ancien Inspecteur des Finances, Administrateur de la Compagnie des forges de Châtillon et Commentry, 181, boulevard Saint-Germain. Paris, 6e.

BORDIER (Dr **Henri**). Professeur, Agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Thomassin, à Lyon (Rhône).

BORGMANN (**J.-J**), Professeur à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOSE (**Jagadis, Chunder**) Presidency College, à Calcutta (Indes anglaises).

BOUANT, Professeur au Lycée Charlemagne, 62, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

BOUASSE (**Henri**), Professeur à la Faculté des Sciences, rue du Japon, à Toulouse (Haute-Garonne).

BOUCHARD (Dr) Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté de Médecine, 174, rue de Rivoli. Paris, 1er.

BOUCHEROT (**Paul**) Ingénieur Conseil, 14, rue Daumier. Paris. 16e.

BOUDRÉAUX (**Édouard**), 13, rue de Poissy. Paris, 5e.

BOUDREAUX (**Léon**), Propriétaire et Directeur des Ateliers de Galvanoplastie, 8, rue Hautefeuille. Paris, 6e.

BOUDRET (**Eugène**), Professeur au Lycée, Villa Flore, coteau de l'Ermitage, à Agen (Lot-et-Garonne).

BOUIC, Professeur de Mathématiques au Lycée, 27, rue Saint-Léonard, à Angers (Maine-et-Loire).

BOULANGER (**Julien**), Commandant du Génie, Chef du Dépôt central de Télégraphie militaire, 25, boulevard Montparnasse. Paris, 6e.

MM.

BOULÉ (**Auguste**), Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, 7, rue Washington. Paris, 8ᵉ.

BOULGAKOFF, Privat docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOULOUCH (**R.**), Professeur au Lycée de Bordeaux (Gironde).

BOURGAREL (**Paul**), Professeur au Lycée de Grenoble (Isère).

BOURGEOIS (**Léon**), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri IV. Paris, 4ᵉ.

BOURGEOIS (**Robert**), Chef d'escadron d'Artillerie, Chef de la Section de Géodésie au Service Géographique de l'armée, 140, rue de Grenelle. Paris, 7ᵉ.

BOURGET (**Henry**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, Astronome adjoint à l'Observatoire de Toulouse (Haute-Garonne).

BOUTY (**E.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce. Paris, 5ᵉ.

BOZZOLA (l'abbé **J.-B.**), Professeur au Séminaire de Padoue (Italie).

BRANAS (**Fernander-Gonzalo**), Professeur à l'Institut Provincial Ancha de San Andres, 3, La Coruna (Espagne).

BRANLY (**E.**), Professeur à l'École libre des Hautes-Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville. Paris, 7ᵉ.

BREWER (**William-J**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain. Paris, 5ᵉ.

BRIEU (**Georges**), Directeur de l'École primaire supérieure, à Saint-Céré (Lot).

BRILLOUIN (**Marcel**), Professeur au Collège de France, 31, boulevard de Port-Royal. Paris, 13ᵉ.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie parisienne du Gaz, 58, rue de Châteaudun. Paris, 9ᵉ.

BROCA (Dʳ **André**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau, Paris, 7ᵉ.

BROCQ (**F.**), Ingénieur en chef à la Compagnie des Compteurs, 185, rue de Vaugirard. Paris, 15ᵉ.

BROGLIE (**M. de**), Enseigne de vaisseau à bord du Saint-Louis, à Toulon (Var).

BROUQUIER (l'abbé), Directeur du Petit Séminaire de Toulouse (Haute-Garonne).

BROWNE (**H.-V.**), Directeur de la Compagnie Direct Spanish Telegraph, à Barcelone (Espagne).

BRUNEL, Lieutenant d'Artillerie à la Commission Centrale de réception des Poudres, à Versailles (Seine-et-Oise).

BRUNET (**Maurice**), Professeur au Lycée de Bastia (Corse).

BRUNHES (**Bernard**), Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme, 37, rue Montlosier, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

BUCHERER (**Alfred**), Dr. Phil. Privat Docent de Physique à l'Université de Bonn (Allemagne).

MM.

BUDDE (Dr **E.**), Professeur, Alt Moabit, 89, à Berlin, N. W. (Allemagne).

BUGUET (**Abel**). Professeur au Lycée, à l'École des Sciences et à l'École de Médecine, 14, rue des Carmes, à Rouen (Seine-Inférieure).

BUISSON (**Henri**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Marseille (Bouches-du-Rhône).

CADENAT, Professeur au Collège, 3, rue Poyat, à Saint-Claude (Jura).

CADIAT, Ingénieur, rue Sainte-Cécile, à La Valette, près Toulon (Var).

CADOT (**Albert**), Professeur au Lycée Carnot, 145, boulevard Malesherbes. Paris, 17e.

CAILHO, Ingénieur des Télégraphes, 111, rue Mozart. Paris, 16e.

CAILLETET (**L.-P.**), Membre de l'Institut, 75, boul. Saint-Michel. Paris, 5e.

CAILLOT DE PONCY, Professeur à l'École de Médecine, 8, rue Clapier, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

CALMETTE (**Louis**), Professeur au Prytanée militaire, 7, boulevard d'Alger, à la Flèche (Sarthe).

CAMBOULAS, Ingénieur des Arts et Manufactures, à Saint-Geniès-d'Olt (Aveyron).

CAMICHEL (**Ch.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 11, rue Bayard, à Toulouse (Haute-Garonne).

CAMMAN, 35, rue de la Bibliothèque, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

CANCE (**Alexis**), Ingénieur électricien, 5, rue Saint-Vincent-de-Paul. Paris, 10e.

CANET (**Gustave-Adolphe**), Directeur de l'Artillerie des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 1, boulevard Malesherbes. Paris, 8e.

CAPELLE (**Édouard**), 82, rue Bonaparte. Paris, 6e.

CARIMEY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 44, boulevard Saint-Michel. Paris, 6e.

CARPENTIER (**Jules**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg. Paris, 6e.

CARPENTIER (**Jean**), 34, rue du Luxembourg. Paris, 6e.

CARRÉ (**F.**), Professeur au Lycée Malherbe, 63, rue de Bretagne, à Caen (Calvados).

CARVALLO (**E.**), Examinateur des élèves à l'École Polytechnique, 1, rue Clovis. Paris, 5e.

CASALONGA, Ingénieur civil, 11, rue des Déchargeurs. Paris, 1er.

CASPARI (**E.**), Ingénieur hydrographe de la Marine, Répétiteur à l'École Polytechnique, 30, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

CASSAN (Dr **Antony**), Médecin électricien, 5, rue des Pénitents, à Nantes (Loire-Inférieure).

CASTEX (**Edmond**), Professeur à l'École de Médecine de Rennes, 16, rue Bertrand, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

CAVIALE (**V.**), Directeur de l'Institution Bertrand, 52, avenue de Saint-Cloud, à Versailles (Seine-et-Oise).

CAZES (**Laurent**), Répétiteur général au Lycée Saint-Louis, 36, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

MM.

CHABAUD (**Victor**), Constructeur d'instruments de précision, 58, rue Monsieur-le-Prince. Paris, 6ᵉ.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 8, rue Picot. Paris, 16ᵉ.

CHABRERIE, Principal du Collège de Treignac, à Sarran par Corrèze (Corrèze).

CHABRIÉ (**Camille**), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire d'enseignement pratique de Chimie appliquée, Villa des Fougères, à Chaville (Seine-et-Oise).

CHADENSON, Conducteur des Ponts et Chaussées, à Tence (Haute-Loire).

CHAIR, Professeur au lycée, 62, faubourg Montbéliard, à Belfort (Territoire de Belfort).

CHAIRY, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 60, rue du Ranelagh. Paris, 16ᵉ.

CHAMPIGNY (**A.**), Ingénieur opticien, 11, rue de Berne. Paris, 8ᵉ.

CHANCEL (**Félix**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

CHAPPUIS (**James**), Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 5, rue des Beaux-Arts. Paris, 6ᵉ.

CHAPPUIS (**Pierre**), Sevogelstrasse, 34, à Bâle (Suisse).

CHARDONNET (le comte **de**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 43, rue Cambon. Paris, 1ᵉʳ.

CHARLE (**Henri**), Professeur au Collège de Melun (Seine-et-Marne).

CHARPENTIER (Dʳ **A.**), Professeur à la Faculté de Médecine, 31, rue Claudot, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

CHARPY (**G.**), Docteur ès sciences, 27, av. de la Gare, Montluçon (Allier).

CHASSAGNY (**Michel**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 1, rue Duban. Paris, 16ᵉ.

CHASSY, Professeur à la Faculté libre des sciences, à Lyon (Rhône).

CHATEAU (**C.**), ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de précision, 16, rond-point de la Porte-Maillot, à Neuilly-sur-Seine.

CHATELAIN (**Michel**), Professeur de Physique à l'École supérieure des Mines, à Saint-Pétersbourg (Russie).

CHAUMAT (**Henri**), chef des Travaux à l'École supérieure d'Électricité, 26, rue Ernest-Renan. Paris, 15ᵉ.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, Chef de traction au Chemin de fer, 3, place Jussieu. Paris, 5ᵉ.

CHAUVEAU, Ancien Élève de l'École Normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau central, 51, rue de Lille. Paris, 7ᵉ.

CHAUVIN (**Raphaël**), Ingénieur électricien, 186, rue Championnet. Paris, 18ᵉ.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

CHENEVEAU (**C.**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 229, rue du Faubourg-Saint-Honoré. Paris, 8ᵉ.

CHEVALLIER (**Henry**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 61, rue Clément, à Bordeaux (Gironde).

MM.

CHIBOUT, Ingénieur, Constructeur d'appareils de chauffage, 36, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6ᵉ.

CHISTONI (Ciro), Professeur à l'Université de Modène (Italie).

CHUDEAU (René), Professeur au Lycée de Bayonne (Basses-Pyrénées).

CHWOLSON (Oreste), Professeur à l'Université Impériale, Wassili Ostrow, 8 Ligne, Maison n° 19, Log. n° 5, à Saint-Pétersbourg (Russie).

CLAVEAU, Professeur au Lycée, 13, rue Amiral-Linois, à Brest (Finistère).

CLAVERIE, Censeur du Lycée Condorcet, 65, rue Caumartin. Paris, 9ᵉ.

CLÉMENT (Louis), 18, rue Louis-le-Grand. Paris, 2ᵉ.

COGNET (Alfred), Professeur au Collège, avenue de la Gare, à Bergerac (Dordogne).

COLARDEAU (P.), Professeur au Lycée de Lille (Nord).

COLARDEAU (Emmanuel), Professeur au Collège Rollin, 13, rue de Navarin. Paris, 9ᵉ.

COLLANGETTES (R. P.), Professeur à l'Université Saint-Joseph, à Beyrouth. (Syrie).

COLLIGNON (Benoît), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur de Mathématiques, 74, rue Jean-Jacques-Rousseau, à Dijon (Côte-d'Or).

COLIN (Th.), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 6, rue Victor-Considérant. Paris, 14ᵉ.

COLLOT (Armand), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'instruments de précision, 8, boulevard Edgar-Quinet. Paris, 14ᵉ.

COLNET D'HUART (de), Membre de l'Académie royale de Belgique, ancien Directeur des finances à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLNET D'HUART (François de), Docteur ès sciences, Professeur à l'Athénée, avenue Reinsheim, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLOMAN DE SZILY, Akademia utcxa, 2, à Budapest (Hongrie).

COLSON (R.), Capitaine du Génie, 66, rue de la Pompe. Paris, 16ᵉ.

COLUMBIA UNIVERSITY LIBRARY, à New-York (États-Unis), chez M. Stechert, 76, rue de Rennes. Paris, 6ᵉ.

COMBES (Charles), 15, rue Bara. Paris, 6ᵉ.

COMBET (Candide), Professeur au Lycée de Tunis, quartier Sans-Soucis (Tunisie).

COMMANAY, Professeur au Lycée de Coutances (Manche).

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI, 54, boulevard Haussmann, Paris, 9ᵉ.

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI, 84, rue de la Victoire. Paris, 9ᵉ.

COPPET (de), villa de Coppet, rue Magnan, à Nice (Alpes-Maritimes).

CORVISY (A.), Professeur au Lycée, 1, place Sainte-Marguerite, à Saint-Omer (Pas-de-Calais).

COSTA (Dʳ), Professeur à la Faculté de Médecine, Calle Vittoria, 1094, Buenos-Ayres (République Argentine).

COTTON (A.), Chargé de Conférences à l'École Normale supérieure, 66, rue Claude-Bernard. Paris, 5ᵉ.

MM.

COUDERT (**A.**), Professeur au Lycée d'Amiens (Somme).

COUETTE (**Maurice**), Docteur ès sciences, Professeur de Physique aux Facultés Catholiques, 26, rue de la Fontaine, à Angers (Maine-et-Loire).

COUPIER, à Saint-Denis-Hors, par Amboise (Indre-et-Loire).

COURQUIN (l'abbé), Professeur à l'École industrielle, 70, rue du Casino, à Tourcoing (Nord).

COUTOIS (l'abbé **F.**), Missionnaire, Église Saint-Joseph, à Chang-Haï (Chine).

COURTOY, Professeur à l'École vétérinaire, 47, rue Bara, à Bruxelles (Belgique).

CRÉMIEU (**Victor**), Licencié ès sciences physiques, 15, rue Soufflot. Paris, 5e.

CROIX (**Victor**), Professeur au Collège communal, avenue du Clos, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROVA, Correspondant de l'Institut, Directeur de l'Institut de Physique de l'Université de Montpellier (Hérault).

CUÉNOD, Ingénieur électricien, 12, rue Diday, à Genève (Suisse).

CULMANN (**Paul**), Docteur ès sciences, Collaborateur scientifique de la maison Zeiss, 28, rue Vauquelin. Paris, 5e.

CURIE (Mme), Professeur à l'École Normale supérieure d'Enseignement secondaire pour les Jeunes filles, 108, boulevard Kellermann. Paris, 13e.

CURIE (**Pierre**), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 108, boulevard Kellermann. Paris, 13e.

DAGUENET (**P.-C.**), Professeur au Lycée Hoche, 7, rue Mademoiselle, Versailles (Seine-et-Oise).

DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas, 44, rue de Fleurus. Paris, 6e.

DAMIEN (**B.-C.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 74, rue Brûle-Maison, Lille (Nord).

DARZENS, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, avenue Ledru-Rollin. Paris, 12e.

DECHEVRENS (le R. P. **Marc**), S. J., Ancien Directeur de l'observatoire Zi-Ka-Wei (Chine), à Saint-Hélier, observatoire Saint-Louis (île Jersey).

DÉCOMBE (**Louis**), Docteur ès sciences, impasse Reille, Paris, 14e.

DEDET (**François**), Professeur honoraire de Physique, à Albi (Tarn-et-Garonne).

DEFFORGES (le Colonel **G.**), Commandant le 36e régiment d'Infanterie, 12, rue Saint-Gabriel, à Caen (Calvados).

DELATTRE (**Félix**), Ingénieur de la Société anonyme de l'Alma, 6, rue de l'Alma, à Roubaix (Nord).

DELAUNAY (**Nicolas**), Professeur de Mécanique à l'Institut d'Agriculture à Novo-Alexandria, gouvernement de Lublin (Russie).

DELAURIER, Ingénieur, 77, rue Daguerre, Paris, 14e.

DELEBECQUE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon (Haute-Savoie).

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 136, cours Lieutaud, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

MM.

DELMAS (Léon-Théodore), Licencié ès sciences, 5, rue Henri-Theulières, à Montauban (Tarn-et-Garonne).

DELPEUCH, Ingénieur de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 74, rue de Dunkerque. Paris, 9e.

DÉPOT CENTRAL DE LA TÉLÉGRAPHIE MILITAIRE, 51, boulevard de La Tour-Maubourg. Paris, 7e.

DELVALEZ, Professeur au Lycée de Poitiers (Vienne).

DEMERLIAC (R.), Professeur au Lycée, 33, rue Bosnière, à Caen (Calvados).

DEMICHEL, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais. Paris, 4e.

DEPREZ (Marcel), Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 23, avenue Marigny, à Vincennes (Seine).

DERO (Louis-Émile-Léonce), Ingénieur civil, 101, rue Tourneville, Le Havre (Seine-Inférieure).

DESCHAMPS (Dr Eugène), 22, rue de la Monnaie, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

DESLANDRES (H.), Astronome à l'Observatoire d'Astronomie physique de Meudon, 43, rue de Rennes. Paris, 6e.

DESPRATS (André), Principal honoraire, route de Villeneuve, à Lons-le-Saunier (Jura).

DESROZIERS, Ingénieur civil des Mines, 10, avenue Frochot. Paris, 9e.

DETAILLE (Charles). Professeur au Lycée, 81, rue du Couédic, à Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord).

DESLIS, Imprimeur, 6, rue Gambetta, à Tours (Indre-et-Loire).

DEVAUD, Professeur au Lycée, 35, boulevard Marenthié, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

DEVAUX, Professeur au Lycée de Brest (Finistère).

DEVAUX (Henri), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde)

D'HENRY (Louis), Ingénieur chimiste et électricien, 6, boulevard de Port-Royal. Paris, 13e.

DIDIER (Paul), Docteur ès sciences, Examinateur d'admission à l'École spéciale militaire, 5, rue de la Santé. Paris, 13e.

DIERMAN (William), Ingénieur électricien, Directeur de la Société anonyme des applications de l'Électricité, 93, rue Hayeneux, à Liége (Belgique).

DIGEON (J.), Ingénieur-Constructeur, 15, 17 et 19, rue du Terrage. Paris, 10e.

DINI (Urbain), 95, route de Saint-Leu, à Deuil, par Enghien (Seine-et-Oise).

DININ (Alfred), Ingénieur des Arts et Manufactures, 69, rue Pouchet. Paris, 17e.

DIOMARD, Professeur au Lycée d'Auch (Gers).

DIOT, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet. Paris, 17e.

DITISHEIM (Paul), Fabricant de chronomètres, 11, rue de la Paix, à la Chaux-de-Fonds (Suisse).

DOIGNON (L.), Ingénieur-Constructeur, successeur de Dumoulin-Froment, 85, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

MM.

DOMERGUE (E.), Résident à Haïphong (Tonkin).

DOMMER, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 12, rue Poisson. Paris, 17e.

DONGIER (Raphaël), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire de Physique (Enseignement) de la Faculté des Sciences, 82, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

DORGEOT (Gabriel), Capitaine commandant l'Artillerie de l'arrondissement de Caen (Calvados).

DOUCEUR, 42, rue Jouffroy. Paris, 17e.

DOUMER (D^r), Professeur à la Faculté de Médecine de Lille (Nord).

DRAULT, Constructeur Électricien, 57, boulevard du Montparnasse. Paris, 6e.

DRINCOURT, Professeur au Collège Rollin, 10, place Bréda. Paris, 9e.

DREYFUSS (E.), Professeur au Lycée de Châteauroux (Indre).

DROUIN (Félix), Ingénieur, 122, rue de Courcelles, à Levallois-Perret (Seine).

DUBOIS (René), Professeur à l'École Turgot, 23, rue des Fossés-Saint-Jacques. Paris, 5e.

DU BOIS (Dr E.-H.), Professeur à l'Université, Schiffbauerdamm, 21, à Berlin N. W. (Allemagne).

DUCHEMIN, Ingénieur, 37, boulevard de la Tour-Maubourg. Paris, 7e.

DUCLAUX, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, 39, avenue de Breteuil. Paris, 7e.

DUCLOS, ancien Directeur d'École normale, à Cerisols, par Fabut (Ariège).

DUCOMET, Ingénieur, 7 et 9, rue d'Abbeville. Paris, 10e.

DUCOTTÉ, Ingénieur électricien, 1, rue de la Paix, à Lyon (Rhône).

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

DUFET, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète. Paris, 5e.

DUFFOUR, Professeur au Lycée de Mont-de-Marsan (Landes).

DUFOUR (Henri), Professeur de Physique à l'Université de Lausanne (Suisse).

DUFOUR, Agrégé préparateur de Physique à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

DUHEM (P.), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 18, rue de la Teste, à Bordeaux (Gironde).

DUJARDIN (P.-J.-R.), Héliographe, 28, rue Vavin. Paris, 6e.

DUMOULIN-FROMENT, Ancien Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 9e.

DUPOUY (Dr Raoul), Chargé de Cours à la Faculté de Médecine de Bordeaux (Gironde).

DUPONT (Charles), Électricien, à Saint-Mihiel (Meuse).

DURAND (Dr Ernest), Préparateur à la Faculté des Sciences, 50, rue Monge. Paris, 5e.

DURAND, Professeur au Lycée, 4, rue Ledru-Rollin, à Constantine (Algérie).

MM.

DUSSAUD, Ancien Député, Professeur à l'École de Mécanique de la Ville de Genève, 16, rue Dancet, à Genève (Suisse), et 160, boulevard Pereire. Paris, 17ᵉ.

DUSSY, Professeur au Lycée, 46, rue Saint-Lazare, à Dijon (Côte-d'Or).

DUTOIT (Dʳ **Constant**), Docteur ès sciences, Professeur, 3, avenue de Georgette, à Lausanne (Suisse).

DVORAK (Dʳ **Vincent**), Professeur à l'Université d'Agram (Autriche-Hongrie).

DYBOWSKI (**A.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg. Paris, 12ᵉ.

EBEL, Ingénieur en chef du Secteur électrique des Champs-Élysées, 2, avenue des Ternes. Paris, 17ᵉ.

EDELBERG (**Alexandre**), Ingénieur opticien à Kharkoff (Russie).

EGINITIS (**Basile**), Élève à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm. Paris, 5ᵉ.

ÉGOROFF (**Nicolas**), sous-directeur de la Chambre centrale des Poids et Mesures, 19, Zabalkansky, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ÉGOROFF (**Serge**), Observateur à l'observatoire de Paulauwsk, près Saint-Pétersbourg (Russie).

EIFFEL (**Gustave**), Ingénieur, 4, rue Rabelais. Paris, 8ᵉ.

ÉLIE (**B.**), Professeur au Collège, 90, rue de la Pointe, à Abbeville (Somme).

ENGEL, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 35, avenue de Breteuil. Paris, 7ᵉ.

ÉTIENNE (**Louis**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et de la Compagnie P.-L.-M., 50, boulevard Saint-Michel. Paris, 6ᵉ.

FABRY (**Charles**), Professeur à la Faculté des Sciences, 4, rue Clapier, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

FAILLOT, Professeur au Lycée de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

FAIVRE-DUPAIGRE (**Jules**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 95, boulevard Saint-Michel. Paris, 5ᵉ.

FAURE (**Henri**), Ingénieur de la Marine, à Bizerte (Tunisie).

FAVÉ, Ingénieur hydrographe en chef de la Marine, 1, rue de Lille. Paris, 7ᵉ.

FAVARGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FERNET (**Émile**), Inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire. Paris, 6ᵉ.

FERRA (**C.-J.**), Directeur du Service météorologique de l'Indo-Chine, à Haïphong (Tonkin).

FERRAS, Professeur au Lycée, 2, place de l'École-de-Médecine, à Toulouse (Haute-Garonne).

FIGUIER (Dʳ **Alban**), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 17, place des Quinconces, à Bordeaux (Gironde).

FONTAINE (**Hippolyte**), Ingénieur électricien, à Port-Marly (Seine-et-Oise).

MM.

FONTAINE, Chimiste, 203, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

FOUCHÉ (Ed.), Ingénieur, 19, avenue de Clichy, Paris, 17e.

FOURNIER (le Dr **Albain**), à Rambervillers (Vosges).

FOURTEAU, Proviseur du Lycée Janson-de-Sailly, 106, rue de la Pompe. Paris, 16e.

FOUSSEREAU, Docteur ès sciences, 5, place de Jussieu. Paris, 5e.

FOVEAU DE COURMELLES (le Dr), 26, rue de Châteaudun. Paris, 9e.

FREDET (Henri), Industriel à Brignoud (Isère).

FRÉMONT (Dr), rue du Geôle, à Caen (Calvados).

FRICKER (le Dr), 6, square de la Tour-Maubourg. Paris, 7e.

FROC (le R. P.), à l'observatoire de Zi-Ka-Weï, près Chang-Haï (Chine).

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 19, rue de Sèvres. Paris, 6e.

FRUH (Eugène), 11, rue de Cujas. Paris, 5e.

GAIFFE (Georges), Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts. Paris, 6e.

GAILLARD (Pierre), Professeur au Lycée, 1, rue de Côte, à Roanne (Loire).

GAILLARD (Léon), Élève à l'École d'Électricité, 92, rue du Cherche-Midi. Paris, 6e.

GAIN (Edmond), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GALANTE, Constructeur d'instruments de Chirurgie, 2, rue de l'École-de-Médecine. Paris, 6e.

GALIMARD, Industriel, à l'abbaye de Flavigny (Côte-d'Or).

GALITZINE (Prince **Boris**), Membre de l'Académie impériale des Sciences, Fontaka, 144, à Saint-Pétersbourg (Russie).

GALL (Henri), Directeur de la Société d'Électrochimie, 5, rue Albert-Joly, à Versailles (Seine-et-Oise).

GALLOTTI, Professeur au Lycée d'Orléans (Loiret).

GARBAN, Inspecteur d'Académie, à Nevers (Nièvre).

GARBE, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers (Vienne).

GARDET (Alfred), Censeur du Lycée de Chambéry (Savoie).

GARÉ (l'abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GARIEL (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille. Paris, 17e.

GARNUCHOT, Professeur honoraire du Collège, 37, rue Saint-Barthélemy, à Melun (Seine-et-Marne).

GASCARD (Albert), Professeur à l'École de Médecine et de Pharmacie, 33, boulevard Saint-Hilaire, à Rouen (Seine-Inférieure).

GAUMONT, Directeur du Comptoir général de Photographie, 57, rue Saint-Roch. Paris, 1er.

GAUTHIER-VILLARS (Albert), Imprimeur-Éditeur, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins. Paris, 6e.

MM.

GAUTIER (P.), Constructeur d'instruments de précision, Membre du Bureau des Longitudes, 56, boulevard Arago. Paris, 13ᵉ.

GAY (Henri), Professeur en congé, 14, rue François-Henri, aux Prés-Saint-Gervais (Seine).

GAY (Jules), Professeur honoraire au Lycée Louis-le-Grand, Examinateur d'admission à l'École militaire de Saint-Cyr, 16, rue Cassette. Paris, 6ᵉ.

GAYON, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 7, rue Duffour-Dubergier, à Bordeaux (Gironde).

GEITLER (Dr Josef-Ritter von), Professeur Deutsche Universitat de Prague (Autriche).

GELLÉ (Joseph), Licencié ès sciences physiques, Professeur à l'École Sainte-Geneviève, 22, rue de la Chaise. Paris, 6ᵉ.

GENDRON (Rodolphe), Préparateur de Physique à l'Institut catholique, 6, rue Gassendi. Paris, 14ᵉ.

GENEST (Eugène), Professeur à la Faculté libre des Sciences, 38, rue de Brissac, à Angers (Maine-et-Loire).

GÉRARD (Anatole), Ingénieur électricien, 16, rue des Grandes-Carrières. Paris, 18ᵉ.

GERARD (Eric), Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut électrotechnique de Montefiore, 35, rue Saint-Gilles, à Liége (Belgique).

GERNEZ, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, 80, rue d'Assas. Paris, 6ᵉ.

GHEURY (Maurice-Edouard-Joseph), Lieutenant au long cours, 23, Downshire Hill, Hampstead, Londres N. W. (Angleterre).

GHESQUIER (l'abbé), Professeur à l'Institution Notre-Dame-des-Victoires, 12, rue Notre-Dame-des-Victoires, à Roubaix (Nord).

GILLES (A.), Inspecteur général de l'Instruction publique, 11, rue Michelet. Paris, 6ᵉ.

GIRARD (Charles), Directeur du Laboratoire municipal, 2, rue de la Cité. Paris, 4ᵉ.

GIRARDET, Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis, 90, rue Claude-Bernard. Paris, 5ᵉ.

GIRARDIN (l'abbé **Maurice**), Professeur de Physique à l'Institut Saint-François-de-Sales, à Gien (Loiret).

GIRAULT, Directeur de l'École municipale Lavoisier, 19, rue Denfert-Rochereau. Paris, 5ᵉ.

GIROUX (Lucien), Ingénieur opticien, successeur de M. Roulot, 19, rue de l'Odéon. Paris, 6ᵉ.

GIVERT (Arthur), Professeur au Lycée, 3 *bis*, rue de Nemours, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

GODART (Léon), Docteur ès sciences, Professeur au Lycée Saint-Louis, 28, rue Gay-Lussac. Paris, 5ᵉ.

GODART, Professeur au Collège, 4, rue Notre-Dame-de-Bon-Secours, à Compiègne (Oise).

MM.

GODEFROY (l'abbé L.), Ancien professeur de Chimie à l'Institut catholique.

GODEFROY (R.-E.), Professeur à l'École Normale d'Instituteurs de la Seine, 10, rue Molitor. Paris, 16ᵉ.

GODRON (Henri), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 73, rue Crevier, à Rouen (Seine-Inférieure).

GODY (G.), Architecte du département des Travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOISOT (Georges), Ingénieur de la Société anonyme des anciens Établissements Parvillée frères et Cⁱᵉ, 10, rue Bélidor. Paris, 17ᵉ.

GOLAZ (L.). Constructeur d'instruments à l'usage des Sciences, 25 *bis*, avenue de Montsouris. Paris, 14ᵉ.

GOLDHAMMER (Démétrius), Professeur de Physique à l'Université de Kasan (Russie).

GOLDSCHMIDT (Robert), Docteur ès sciences chimiques, 495, avenue Louise, à Bruxelles (Belgique).

GOLOUBITZKI (Paul), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GORSSE, Professeur au Collège Rollin, 19, rue Nollet. Paris, 17ᵉ.

GOSSARD (Fernand), Docteur en droit, 15, rue Tronchet. Paris, 8ᵉ.

GOSSART (Émile), Professeur à la Faculté des Sciences, 68, rue Eugène-Ténot, à Bordeaux (Gironde).

GOURÉ DE VILLEMONTÉE (Gustave), Docteur ès sciences, professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy. Paris, 5ᵉ.

GOUY (G.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon (Rhône).

GRAETZ (Léo), Dʳ Phil., Professeur à l'Université, Arcisstrasse, 8, à Munich (Bavière).

GRAJON (A.), Docteur en Médecine, à Vierzon (Cher).

GRAMONT (Arnaud de), Docteur ès sciences physiques, 81, rue de Lille. Paris, 7ᵉ.

GRAU (Félix), Professeur au Lycée de Bar-le-Duc (Meuse).

GRAY (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-Percha and Telegraph Works C°, Silvertown, Essex, à Londres (Angleterre).

GREFFE (E.), Professeur au Lycée de Montpellier (Hérault).

GRÉHANT (Dʳ), Professeur de Physiologie générale au Muséum, 90, cours de Vincennes. Paris, 12ᵉ.

GRIMALDI (Giovan Petro), Docteur ès sciences physiques, Directeur du Laboratoire et Professeur de Physique à l'Université Royale, 25, Via Androne, Catania, Sicile (Italie).

GRIPON, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 12, rue du Mont-Thabor, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

GRIVAUX, Professeur au Lycée, 16, rue Montbrillant, à Monplaisir, Lyon (Rhône).

GRIVOLAS (Claude), Ingénieur civil, Administrateur délégué de la Compagnie française d'Appareillage électrique, 16, rue Montgolfier. Paris, 3ᵉ.

MM.

GROGNOT (**L.**), Ingénieur chimiste. 35, rue Saint-Lazare, à Saint-Ouen-l'Aumône (Seine-et-Oise).

GROOT (le P. **L.-Th. de**), Kerkstraat, 14. Oudenbosch (Hollande).

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 67, avenue Malakoff. Paris, 16ᵉ.

GROUVELLE, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire. Paris, 6ᵉ.

GRUEY-VIARD, Constructeur d'instruments de Physique, rue de la Liberté, à Dijon (Côte-d'Or).

GUEBHARD (Dʳ **Adrien**), Agrégé des Facultés de Médecine, à Saint-Vallier-de-Thiey (Alpes-Maritimes),

GUEORGUIEWSKY (**Nicolas**), Institut technologique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

GUERBY (**A.**), Professeur en retraite, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUERBY, Professeur au Lycée, boulevard Fragonard, Annecy (Haute-Savoie).

GUÉRIN (**Georges**), Docteur en Médecine, Licencié ès sciences, 70, avenue Kléber. Paris, 16ᵉ.

GUÉROULT (**Georges**), Ancien Inspecteur des finances, Trésorier-Payeur général honoraire, 17, avenue de Breteuil. Paris, 7ᵉ.

GUERRE, Constructeur électricien, 53, rue de Villiers, à Neuilly-sur-Seine (Seine).

GUILLAUME (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

GUILLET, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 158, rue Saint-Jacques. Paris, 5ᵉ.

GUILLEMIN (l'abbé), Professeur de Sciences mathématiques et physiques à l'Externat de la rue de Madrid, 43, rue du Rocher. Paris, 8ᵉ.

GUILLEMINOT, Docteur en Médecine, 13, chaussée de la Muette. Paris, 16ᵉ.

GUILLOZ (Dʳ **Th.**), Agrégé, Chef des travaux du Laboratoire de Physique médicale à la Faculté de Médecine, 24, place de la Carrière, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUINARD (**A.**), Armurier, 8, avenue de l'Opéra. Paris, 1ᵉʳ.

GUINCHANT (**J.**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 177, rue Saint-Jean, à Caen (Calvados).

GUNTZ, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue Hermite, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUTTON (**Camille**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 40 *bis*, rue Gambetta, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUYE (**Philippe-A.**), Docteur ès sciences, Professeur de Chimie à l'Université, 3, Chemin des Cottages, à Genève (Suisse).

GUYE (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, Professeur de Physique à l'Université, 41, route de Chêne, à Genève (Suisse).

GUYENOT (**Paul-Louis**), Docteur en Médecine à Aix-les-Bains (Savoie).

HAGENBACH-BISCHOFF, Professeur à l'Université, 20, Missionsstrasse, à Bâle (Suisse).

MM.

HAGENBACH (**Auguste**), Privat-docent à l'Université, Breitestrasse, à Bonn-sur-Rhin, près Cologne (Allemagne).

HALE (**Georges**), Directeur de l'Observatoire, Yerkes observatory, University of Chicago, Williams Bay, Wisconsin (États-Unis).

HALLER (**A.**), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue Le Goff. Paris, 5e.

HAMY (**Maurice**), Astronome adjoint à l'Observatoire, 16, rue de Bagneux. Paris, 6e.

HANRIOT (**Th.**), Ancien recteur des Ardennes, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, 6, rue Pichon, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

HARKER (**Dr John-Allen**), Docteur ès sciences, Membre du Owens-College, The National Physical Laboratory, old Deer Park, Richmond, Surrey (Angleterre).

HARTL (Colonel), Attaché à l'Institut géographique militaire de Vienne (Autriche).

HAUDIÉ (**Edgart**), Professeur à l'École navale, 89, rue de Paris, à Brest (Finistère).

HEEN (**Pierre de**), Membre de l'Académie Royale, Directeur de l'Institut de Physique, 9, rue Momilphe, à Liége (Belgique).

HEGER (**Paul**), Professeur de Physiologie, Institut Solvay (Parc Léopold), Bruxelles (Belgique).

HEMARDINQUER (**Ch.**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 7, rue de la Cerisaie. Paris, 4e.

HEMOT (**Alphonse**), Constructeur d'instruments de précision, 43, rue Tournefort. Paris, 5e.

HEMPTINNE (**Alexandre de**), 56, rue de la Vallée, à Gand (Belgique).

HENOCQUE (**Dr A.**), Directeur adjoint du Laboratoire de Physique biologique du Collège de France, 11, avenue Matignon. Paris, 8e.

HENRY (**Édouard**), Professeur de physique au Lycée, 28, rue Capitaine-Lefort, à Lorient (Morbihan).

HENRY (**Aimé**), Professeur au Lycée, 22, rue Marlot, à Reims (Marne).

HENRY (**Victor**), Préparateur de Physiologie à la Faculté des Sciences, 13, rue du Val-de-Grâce. Paris, 5e.

HEPITES (**Stefan**), Directeur de l'Institut météorologique à Bucarest (Roumanie).

HERMANN (**A.**), Libraire-Éditeur, 8, rue de la Sorbonne. Paris, 5e.

HERSCHOUN (**Alexandre**), Étudiant au Laboratoire de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

HERSE (**Charles-Alexandre**), Professeur au Collège, 12, rue du Beffroi, à Soissons (Aisne).

HERZOG, 15, avenue du Trocadéro. Paris, 16e.

HESEHUS (**N.**), Professeur à l'Institut technologique de l'Empereur Nicolas I, à Saint-Pétersbourg (Russie).

HILLAIRET (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 22, rue Vicq-d'Azir. Paris, 10e.

MM.

HODIN, Inspecteur d'Académie, à Vesoul (Haute-Saône).

HOMEN (**Théodore**), Professeur à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

HOSPITALIER, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 87, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

HOSTEIN, Proviseur du Lycée, 37, rue Isabey, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

HOULLEVIGUE, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen (Calvados).

HOWE (**Henry M.**), Professeur de Métallurgie à Columbia University, Columbia University, New-York City (États-Unis).

HUDELO, Répétiteur à l'École centrale, 10, rue Saint-Louis-en-l'Ile. Paris, 4e.

HUET (**Ernest**), Docteur en Médecine, 21, rue Jacob. Paris, 6e.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences, boulevard de Brosses, à Dijon (Côte-d'Or).

HURMUZESCU (**Dragomir**), Docteur ès sciences, Professeur à la Faculté des Sciences de Jassy (Roumanie).

HUSSON (**Léon**), Directeur de l'*Eastern Extension Telegraph C°*, à Foochow (Chine).

HUTIN (**Maurice**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 10, avenue Trudaine. Paris, 9e.

IMBAULT (**G.**), Censeur du Lycée d'Oran (Algérie).

IMBERT (**Armand**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier (Hérault).

INFREVILLE (**Georges d'**), Ex-Électricien de la *Western Union Telegraph C°*, Expert de la *National Bell Telephone C°*, 110, Liberty street, à New-York (États-Unis).

INFROT (**Charles**), Directeur du service de la radiographie de la Salpêtrière, 8, rue des Saints-Pères. Paris, 6e.

IVANOFF (**Basile**), Licencié ès sciences (maison Ivanoff), à Simpheropol (Russie).

IZARN (**Joseph**), Professeur au Lycée Pascal, 34, rue Bansac, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

JACOBS (**Fernand**), Président de la Société belge d'Astronomie, 21, rue des Chevaliers, à Bruxelles (Belgique).

JAMBART, Professeur au Lycée, 62, avenue Saint-Roch, à Valenciennes (Nord).

JANET (**Paul**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité, 8, rue du Four. Paris, 6e.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon (Seine-et-Oise).

JARRE (**L.-M.**), Ingénieur électricien, anciennement attaché à la Maison Sautter, Harlé et Cie, 9, rue Louis-le-Grand. Paris, 2e.

JARRET, Opticien, 116, avenue de Suffren. Paris, 7e.

MM.

JAUBERT (**Georges**), Docteur ès sciences, 155, boulevard Malesherbes. Paris, 17e.

JAUMANN (Dr **G.**), Professeur de Chimie et de Physique de l'Université de Prague (Autriche).

JAVAL (Dr **Émile**), Membre de l'Académie de Médecine, 5, boulevard La Tour-Maubourg. Paris, 7e.

JAVAL (**Jean**), 5, boulevard La Tour-Maubourg. Paris, 7e.

JAVAUX (**Émile**), Administrateur-Directeur de la Société Gramme, 130, boulevard Pereire. Paris, 17e.

JÉNOT, Professeur honoraire au Collège Rollin, 11, r. Caulaincourt. Paris, 18e.

JEUNET, Ancien Professeur, 15, avenue de la Défense-de-Paris, à Puteaux (Seine).

JOANNIS (l'abbé **Joseph de**), Licencié ès sciences physiques et mathématiques. 33, rue du Cherche-Midi. Paris, 6e.

JOB, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes (Ille-et-Vilaine).

JOBIN (**A.**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de précision, successeur de M. Léon Laurent, 21, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

JOLY (**Louis**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 66, boulevard de Port-Royal. Paris, 13e.

JOSEPH (**Paul**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Montsouris. Paris, 14e.

JOUBERT, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet. Paris, 15e.

JOUBIN, Doyen de la Faculté des Sciences de Besançon (Doubs).

JOUCLAS (**Louis**), 290, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

JOUKOWSKI (**Nicolas**), Professeur de Mécanique à l'Université et à l'École des Hautes-Études de Moscou (Russie).

JOYEUX (**Eugène**), 10, avenue de Bellevue, à Sèvres (Seine-et-Oise).

JUDIC, Ingénieur électricien, 2, rue des Lavandières-Sainte-Opportune. Paris, 1er.

JUNGFLEISCH (**E.**), Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 74, rue du Cherche-Midi. Paris, 6e.

KAPOUSTINE (**Théodore**), Professeur de Physique à l'Université de Tomsk (Sibérie).

KELVIN (**Lord**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow, Netherhall, Largs, Ayrshire (Écosse), 15, Eaton Place, Londres, S. W. (Angleterre).

KNOLL, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand, 123, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

KŒCHLIN (**Horace**), Chimiste, 19, avenue du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).

KORDA (**Désiré**), Ingénieur chef du Service électrique de la Compagnie de Fives-Lille, 64, rue de Caumartin. Paris, 9e.

MM.

KOROLKOFF (**Alexis**), Colonel d'Artillerie russe, Professeur de Physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg (Russie).

KOUPRIANOFF, Capitaine à l'Académie d'Artillerie Saint-Michel, à Saint-Pétersbourg (Russie).

KOUSTOVSKY (**Mitrophan**), Professeur au gymnase russe, Russie Mariopol, mer d'Azow.

KOWALSKI, Professeur à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 1, rue de Grassi, à Bordeaux (Gironde).

KOWALSKI (**Joseph de**), Professeur à l'Université de Fribourg (Suisse).

KROUCHKOLL, Docteur ès sciences et Docteur en Médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 77, rue de Prony. Paris, 17e.

LABATUT, Professeur suppléant à l'École de Médecine et de Pharmacie de Grenoble (Isère).

LACOUR (**Alfred**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère. Paris, 17e.

LACROIX (**Paul**), Directeur de la Compagnie Universelle d'Acétylène, 36, rue de Châteaudun. Paris, 9e.

LAFAY, Capitaine, adjoint à l'atelier de précision, représentant la Section technique de l'Artillerie, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin. Paris, 7e.

LAFFARGUE (**Joseph**), Licencié ès sciences physiques, Ingénieur électricien, 70, boulevard Magenta. Paris, 10e.

LAFLAMME (Mgr), Membre de la Société géologique de France, Recteur de l'Université Laval, à Québec (Canada).

LAFONT (R. P. **Eugène**), S. J., C. I. L. Professeur de physique au collège Saint-François-Xavier, 10, Park St. Calcutta (Indes-Anglaises).

LAGRANGE (**Eugène**), Professeur de Physique à l'École Militaire, 60, Champs-Élysées, à Bruxelles (Belgique).

LALA (**Ulysse**), Docteur ès sciences, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, Professeur de Mécanique et de Physique à l'École des Beaux-Arts et des Sciences Industrielles, 16, boulevard de Strasbourg, à Toulouse (Haute-Garonne).

LAMBERT (**Pierre**), Ingénieur, 5, rue de la Tour-des-Dames. Paris, 9e.

LAMIRAND, Professeur au Lycée de Toulouse (Haute-Garonne).

LAMOTTE, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 9, rue Montlosier, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

LANCE (Mlle), Préparatrice au Lycée Fénelon, 45, rue Saint-André-des-Arts. Paris, 6e.

LANCELOT, Constructeur d'instruments d'acoustique, 70, avenue du Maine. Paris, 14e.

LANDRIN, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 127, boulevard Haussmann. Paris, 17e.

LANGEVIN, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 21, boulevard Saint-Marcel. Paris, 13e.

MM.

LANIÈS, Professeur au Lycée de Toulouse (Haute-Garonne).

LAPORTE, Ingénieur civil des Mines, Ancien Élève de l'École Polytechnique, Chef des Travaux au Laboratoire central d'Électricité, 2, rue Saint-Simon. Paris, 7ᵉ.

LAPRESTÉ, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet. Paris, 15ᵉ.

LAROCHE (Félix), Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en retraite, 110, avenue Wagram. Paris, 17ᵉ.

LAROUSSE (Auguste), Professeur au Lycée, 6, place Jean-Desveaux, à Nevers (Nièvre).

LATCHINOFF, Professeur de l'Institut du Corps forestier, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LATOUR, Professeur honoraire, 6, chaussée Saint-Pierre, à Angers (Maine-et-Loire).

LAURENT (Léon), Ancien Constructeur d'instruments d'Optique, 21, rue de l'Odéon. Paris, 6ᵉ.

LAURIOL (Pierre), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 1, avenue de l'Observatoire. Paris, 6ᵉ.

LAVERDE (Dʳ **Jésus-Oloya**), à Bucaramanga (États-Unis de Colombie).

LAVIÉVILLE (Augustin), Inspecteur d'Académie, 72, rue Claude-Bernard. Paris, 5ᵉ.

LAWTON (George-Fleetwood), Ingénieur-Directeur de l'*Eastern Telegraph C°*, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

LE BAYON (Dʳ), Chef du Laboratoire de Radiographie à la Clinique générale de Chirurgie, 5, place de l'Odéon. Paris, 6ᵉ.

LEBEDEW (Jean), Adjoint à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE BEL (J.-A.), Ancien Président de la Société chimique, 25, rue Franklin. Paris, 16ᵉ.

LEBLANC (Maurice), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 1, avenue de Boufflers, villa Montmorency. Paris, 16ᵉ.

LE BON (Dʳ **G.**), 29, rue Vignon. Paris, 8ᵉ.

LECARME (Jean et **Louis)**, Ingénieurs-Constructeurs, 118, rue de Vaugirard, Paris, 6ᵉ.

LECAT, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 7, rue Gustave-Courbet. Paris, 16ᵉ.

LE CHATELIER (André), Ingénieur en chef de la Marine, 331, rue Paradis, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

LE CHATELIER (Henry), Ingénieur des Mines, Professeur au Collège de France et à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6ᵉ.

LE CHATELIER (Louis), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, 4, rue Bara. Paris, 6ᵉ.

LE CHATELIER (Charles), 73, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6ᵉ.

LECHER (Dʳ **Ernst**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LEDUC, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 84, boulevard Saint-Michel. Paris, 6ᵉ.

MM.

LEDUC (**Dr Stéphane**), Professeur à l'École de Médecine, 5, quai de la Fosse, à Nantes (Loire-Inférieure).

LEFEBVRE (**Eugène**), Professeur honoraire, 2, rue des Réservoirs, à Versailles et à Menotey (Jura).

LEFEBVRE (**Pierre**), Professeur au Lycée, 67, boulevard Faidherbe, à Douai (Nord).

LEFÈVRE (**Julien**), Professeur au Lycée, 20, avenue de Gigant, à Nantes (Loire-Inférieure).

LEFÈVRE (**Z.-H.-D.**), Préparateur de Physique au Lycée, 10, rue Frédéric-Petit, à Amiens (Somme).

LEJEUNE (**Dr Louis**), Médecin électricien, 1, rue des Urbanites, à Liége (Belgique).

LEMESLE, Professeur et Secrétaire de l'École de Médecine et de Pharmacie d'Angers (Maine-et-Loire).

LEMERAY (**Maurice**), Licencié ès sciences mathématiques et physiques, Ingénieur civil, 109 *bis*, rue Ville-ès-Martin, à Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).

LEMOINE (**Émile**), Chef honoraire du Service de la vérification du gaz, 32, avenue du Maine, à Paris, 14e.

LEMOINE (**Constant**), Professeur au Lycée de Brest (Finistère).

LEMOINE (**Georges**), Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École Polytechnique, 79, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

LEMOINE (**Jules**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 72, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

LEMSTROM (**Selim**), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

LENOIR (**Léon**), Préparateur de Physique au Lycée, 53, rue Victor-Hugo, à Brest (Finistère).

LEPERCQ (**Gaston**), Professeur de Chimie à la Faculté libre, 25, rue du Plat, à Lyon (Rhône).

LEQUEUX (**P.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

LERAY (le P. **Ad.**), Eudiste, 12, rue du Quinconce, à Angers (Maine-et-Loire).

LERMANTOFF, Professeur de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse. Paris, 14e.

LEROY, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail. Paris, 14e.

LESAGE (**Auguste**), Professeur au Lycée de Châteauroux (Indre-et-Loire).

LESOBRE, Professeur au Collège, 13, rue Créroulin, à Melun (Seine-et-Marne).

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

LÉTANG (**Dr Marc**). 272, Faubourg-Saint-Honoré. Paris, 8e.

LEUILLIEUX (**Dr**), Médecin de la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, à Conlie (Sarthe).

MM.

LÉVY (**Armand**), Professeur de Physique, 124, rue de Cazault, à Alençon (Orne).

LEYMARIE, Professeur au Lycée d'Évreux (Eure).

LHUILLIER, Professeur, rue Duguesclin, à Lorient (Morbihan).

LIBRARY OF UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA, à Philadelphie (États-Unis). Chez M. Stechert, 76, rue de Rennes. Paris, 6e.

LIMB (**Claudius**), Docteur ès sciences, Ingénieur-Conseil de la Maison Gindre Frères et Cie de Lyon, 8, quai d'Occident, à Lyon (Rhône).

LIPPICH (**Fr.**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon. Paris, 6e.

LOCHERER, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 45, rue Ampère. Paris, 17e.

LOISELEUR, Chargé de cours de Sciences au Lycée, 11, rue Desfourniel, à Bordeaux (Gironde).

LOUGUININE (**W.**), Docteur honoraire, Professeur de Thermochimie à l'Université de Moscou (Russie).

LUBOSLAWSKI (**Gennady**), Préparateur à l'Institut forestier de Saint-Pétersbourg (Russie).

LUCAS (**Le R. P. J.-D.**), S. J., Professeur à la Faculté des Sciences, Collège Notre-Dame-de-la-Paix, à Namur (Belgique).

LUCCHI (**Dr Guglielmo de**), Professeur de Physique au Lycée Royal Tito Livio, Padoue (Italie).

LUGOL (**Paul**), Professeur au Lycée, 4, cité Chabrol, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

LUMIÈRE (**Auguste**), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon) (Rhône).

LUMIÈRE (**Louis**), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon) (Rhône).

LUSSANA (**Silvio**), Docteur ès sciences physiques, à l'Institut physique de l'Université de Sienne (Italie).

LYON (**Gustave**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, Industriel, 22, rue Rochechouart. Paris, 9e.

MACÉ DE LÉPINAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

MACH (**Dr ERNST**), Professeur de Physique à l'Université, XVIII, Hofstattgasse, 3, Vienne (Autriche).

MACK (**Ed.**), Ingénieur, Les Charmettes, à Lausanne (Suisse).

MACQUET (**Auguste**), Ingénieur au corps des Mines, Directeur de l'École provinciale d'Industrie et des Mines du Hainaut, 22, boulevard Dolez, à Mons (Belgique).

MADAMET, Directeur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

MAIGRET (**D^r**), 86, avenue de la République, à Montrouge (Seine).

MAISONOBE, Capitaine d'Artillerie, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

MM.

MALBINET (**J.**), Président de la Société de Photographie du Doubs, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences de Besançon (Doubs).

MALLAT (R. P. **Jean**), Professeur au Collège du Sacré-Cœur, Schembaganur, Présidence de Madras (Indes anglaises).

MALLY (Dr **Francis**), 24, rue de Saint-Pétersbourg. Paris, 8e.

MALOSSE, Professeur à l'École de Médecine d'Alger (Algérie).

MALTÉZOS, Docteur ès sciences, 129, rue Solon, à Athènes (Grèce).

MAMY (J.), Professeur au Lycée, 15, rue Thibaudeau, à Poitiers (Vienne).

MANEUVRIER, Directeur adjoint du Laboratoire des Recherches physiques, à la Sorbonne. Paris, 5e.

MANVILLE (**Octave**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

MANY, Professeur de Physique à l'École des Ponts et Chaussées, à Bucarest (Roumanie).

MARAGE (Dr), Docteur ès sciences, 14, rue Duphot. Paris, 1er.

MARCHIS, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 106, rue Mazarin, à Bordeaux (Gironde).

MAREY, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert. Paris, 16e.

MARIE, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne, 120, rue Saint-Antoine. Paris, 4e.

MARSAL (**P.**), Professeur au Lycée, 27, rue Sigisbert-Adam, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MARTIN (**Georges**), Ingénieur de la Station d'Éclairage électrique, 67, rue Rousseau, à Bar-le-Duc (Meuse).

MARTINET (**E.**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 5, rue de l'Amiral-Courbet. Paris, 16e.

MARTINET, Professeur au Prytanée militaire, 5, Grande-Rue, à la Flèche (Sarthe).

MARTINEZ (R. P. **E.**), Professeur de Physique au Colegio San José, Valladolid (Espagne).

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau Central météorologique, 176, rue de l'Université. Paris, 7e.

MASSE (**Maurice**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, place de l'Église-du-Vœu, à Nice (Alpes-Maritimes).

MASSIN, Ingénieur des Télégraphes, 61, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

MASSON (**Louis**), 33, rue de Vincennes, à Montreuil-sous-Bois (Seine).

MASSOULIER, Professeur au Lycée, 30, boulevard Delorme, à Nantes (Loire-Inférieure).

MATHIAS (**Émile**), Professeur à la Faculté des Sciences, 22, place Dupuy, à Toulouse (Haute-Garonne).

MATHIEU (**Louis**), Directeur de la Station œnologique de Bourgogne, à Beaune (Côte-d'Or).

MATHIEU (**Joseph-Louis**). Professeur au Lycée d'Évreux (Eure).

MAUPEOU D'ABLEIGES (**de**), Ingénieur de la Marine, à Lorient (Morbihan).

MM.

MAURAIN (Charles), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes (Ille-et-Vilaine).

MELANDER, Préparateur à l'Université Skepparebrianten à Helsingfors (Finlande).

MENDELSSOHN, Docteur en Médecine, 49, rue de Courcelles. Paris, 8e.

MENIER (Henri), Ingénieur, 8, rue Alfred-de-Vigny. Paris, 8e.

MENSBRUGGHE (Gustave-Léonard Van der), Membre de l'Académie Royale, Professeur de Physique mathématique à l'Université, Coupure, 131, à Gand (Belgique).

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 21, rue Descartes. Paris, 5e.

MERCANTON (Paul-Louis), Ingénieur électricien, 2, square de Georgette, à Lausanne (Suisse).

MERLIN (Paul), Professeur au Lycée, 78, faubourg Vincent, à Châlons-sur-Marne (Marne).

MESLANS (Maurice). 59, quai de la Baronnie, à Ablon (Seine-et-Oise).

MESLIN (Georges), Professeur à la Faculté des Sciences, villa Marie, ancien chemin de Castelnau, Montpellier (Hérault).

MESTRE, Ingénieur à la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette. Paris, 10e.

MÉTRAL (Pierre), Agrégé des Sciences physiques, Professeur à l'École Colbert, 239 *bis*, rue Lafayette. Paris, 10e.

METZ (de), Professeur à l'Université Saint-Wladimir, 3, rue du Théâtre, à Kiew (Russie).

MEYER, Directeur de la Compagnie continentale Edison, 38, rue Saint-Georges. Paris, 9e.

MEYER (Dr Stefan), Privat docent à l'Université Turkenstrasse, 3, à Vienne (Autriche).

MEYLAN (Eugène), Ingénieur, 23, boulevard du Montparnasse. Paris, 6e.

MICHAUT (Victor), Préparateur de Physiologie à la Faculté des Sciences, 1, rue des Novices, à Dijon (Côte-d'Or).

MICHEL (Auguste), Constructeur d'instruments de Physique, 37, boulevard Bourdon. Paris, 4e.

MICHELSON (Albert), Professeur à l'Université de Chicago (États-Unis).

MICKS (Richard), Professeur au Gymnase communal, à Trieste (Autriche).

MICULESCU (Constantin), Professeur à l'Université, 3, Strada Spatarului à Bucarest (Roumanie).

MILLARD (John-A.), Docteur en Médecine, au château Sunnyside, à Dinard-Saint-Énogat (Ille-et-Vilaine).

MILLIS (John) Major, Corps of Engineers, United States army, U.-S. Engineers office, Seattle State, of Washington (U. S. A.).

MISERY (Charles-Gustave), Ingénieur civil, 15, rue de la Fontaine-du-Gué, à Deuil (Seine-et-Oise).

MISLAWSKY (Dr), Professeur agrégé de Physiologie à l'Université de Kasan (Russie).

MM.

MIX (**Edgar-W.**), Ingénieur électricien, 12, boulevard des Invalides. Paris, 7e.

MOESSARD, Lieutenant-Colonel du Génie, 189, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

MOINE, Préparateur de Physique au Lycée de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

MOLTENI (**A.**), Ingénieur, 15, rue Origet, à Tours (Indre-et-Loire).

MONNIER (**D.**), Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 3, impasse Cothonet, et 22, rue de la Faisanderie. Paris, 16e.

MONNORY (**Henri**), Professeur au Lycée Hoche, 5, rue Montebello, à Versailles (Seine-et-Oise).

MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon (Rhône).

MONTEFIORE (**Levi**), Ingénieur, Sénateur du Royaume de Belgique, Fondateur de l'Institut électrotechnique, 35, rue de la Science, à Bruxelles (Belgique).

MONTEIL (**Silvain**), Juge de Paix à Grand-Bourg (Creuse).

MONTHIERS (**Maurice**), 50, rue Ampère. Paris, 17e.

MORE (**Louis Tranchard**), Ph. D., Professeur de Physique à l'Université de Cincinnati, Johns Hopkins University, Auburu Hotel, Cincinnati (Ohio) (U. S. A.).

MOREAU (**Georges**), Professeur à la Faculté des Sciences, 49, avenue de la Gare, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

MOREUX (l'abbé **Th.**), Professeur de Physique à l'École Saint-Célestin, à Bourges (Cher).

MORIN (**Pierre**), Professeur au Lycée, 40, rue Barathon, à Montluçon (Allier).

MORIN (**F.**), Docteur en Médecine, place Lamoricière, à Nantes (Loire-Inférieure).

MORIZE (**Henri**), Ingénieur civil, Docteur ès sciences, Astronome à l'Observatoire, Professeur de Physique à l'École Polytechnique, Rua Princeza Imperial, n° 20. Antigo, à Rio-de-Janeiro (Brésil).

MORIZOT, Chargé du Cours, au Lycée de Chaumont (Haute-Marne).

MORS, Ingénieur, constructeur d'appareils électriques, 84, rue du Théâtre, Grenelle. Paris, 15e.

MOSER (Dr **James**), Privat docent à l'Université, 25, Laudon-Gasse, Vienne VIII/1 (Autriche).

MOUCHOT, Professeur en retraite, 56, rue Dantzig (5, passage Dantzig). Paris, 15e.

MOULIN (**Honoré**), Capitaine au 26e d'Artillerie, 59, rue Bobillot, au Mans (Sarthe).

MOUREAUX (**Th.**), Météorologiste, Chef du Service magnétique à l'Observatoire du Parc Saint-Maur (Seine).

MOUSSELIUS (**Maximilien**), Employé à l'Administration centrale des Télégraphes, rue Torgowaïa, n° 13, Log. 4, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MOUSSETTE (**Ch.**) Ingénieur chimiste, 73, boulevard Suchet. Paris, 16e.

MUHLL (**K. von der**), Professeur ordinaire de Physique mathématique à l'Université de Bâle (Suisse).

MM.

MUIRHEAD (**Alexandre**), F. C. S., Sherborne Lodge, Sportlands Kent (Angleterre).

MULLER (**Paul**), Professeur à l'Institut chimique de la Faculté des Sciences 1, rue Grainville, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MULLER (**Victor**), Professeur au Lycée, 32, faubourg de Breuil, au Puy (Haute-Loire).

MYCHKINE, Professeur de Physique à l'Institut agronomique de Nowoya Alexandria (Russie).

NACHET (**A.**), Constructeur d'instruments d'Optique, 17, rue Saint-Séverin. Paris, 5ᵉ.

NACHET (**Camille**), Constructeur d'instruments d'Optique, 7, rue des Gravilliers. Paris, 3ᵉ.

NAGAOKA (**H.**), Docteur ès Sciences, Professeur de Physique à l'Université de Tokio (Japon).

NAMBA MASSASHI, Professeur à l'Université de Kioto (Japon).

NEGREANU (**D.**), Professeur à l'Université, 21, Strada Popa-Rusu, à Bucarest (Roumanie).

NERDEUX (**Léon-Jean**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 68, rue du Cardinal-Lemoine. Paris, 5ᵉ.

NERVILLE (**de**), Ingénieur des Télégraphes, 59, rue de Ponthieu. Paris, 8ᵉ.

NEUBURGER, Professeur au Lycée, 11, avenue du Vieux-Marché, à Orléans (Loiret).

NICOLAIEVE (**Wladimir de**), Colonel d'Artillerie, professeur à l'École militaire Paul, à Saint-Pétersbourg (Russie).

NODON (**Albert**), Ingénieur-conseil, 69, rue Madame. Paris, 6ᵉ.

NOÉ (**Charles**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 8, rue Berthollet. Paris, 5ᵉ.

NOGUÉ (**Émile**), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas. Paris, 6ᵉ.

NORDMANN (**Ch.**), Licencié ès Sciences, à l'Observatoire d'Astronomie physique de Meudon (Seine-et-Oise).

NOTHOMB (**Louis**), Professeur de Télégraphie technique à l'École de Guerre, à Bruxelles (Belgique), Hôtel de France, à Saint-Pétersbourg (Russie).

NOUGARET (**Élie**), Proviseur du Lycée de Grenoble (Isère).

OFFRET (**Albert**), Professeur de Minéralogie à l'Université, Villa Sans-Souci, 53, Chemin des Pins, à Lyon (Rhône).

OGIER (**Jules**), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 49, rue de Bellechasse. Paris, 7ᵉ.

OLIVIER (**Louis**), Docteur ès Sciences, Directeur de la *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 22, rue du Général-Foy. Paris, 8ᵉ.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 2, rue Manuel. Paris, 9ᵉ.

ONDE, Professeur au Lycée Henri-IV, 41, rue Claude-Bernard. Paris, 5ᵉ.

MM.

OSMOND (**Floris**), Ingénieur civil, 83, boulevard de Courcelles. Paris, 8e.

OUMOFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

OZENNE (**L.-P.**), Aide au Bureau international des Poids et Mesures, 42, boulevard Magenta. Paris, 10e.

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann. Paris, 8e.

PAILLOT, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 58, rue de Turenne, à Lille (Nord).

PALAZ (**Adrien**), Docteur ès Sciences, Professeur d'Électricité industrielle à l'Université de Lausanne (Suisse).

PALMADE, Professeur au Lycée de Montpellier (Hérault).

PALMADE (**F.**), Chef de bataillon au Génie, commandant le 20e bataillon à Toul (Meurthe-et-Moselle).

PAQUIER (**Marc**), Constructeur mécanicien, 68, rue du Cardinal-Lemoine. Paris, 5e.

PARISSE, Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi. Paris, 11e.

PATENT OFFICE LIBRARY, à Londres, 25, Southampton Buildings, W. C. (Angleterre).

PATTE (**Lucien**), Ancien Élève de l'École Normale supérieure, Professeur au Collège, boulevard du Midi, à Vitry-le-François (Marne).

PALVIDÈS (**Démosthènes**), Docteur en Médecine.

PAULSEN (**Adam-Frédéric-Vivet**), Directeur de l'Institut météorologique de Copenhague (Danemark).

PAYN (**John**), Directeur de l'*Eastern Telegraph Co*, au Caire (Égypte).

PAYRARD (**Henri**), Censeur du Lycée de Bourges (Cher).

PÉLABON (**H.**), Chargé de Conférences de Chimie à la Faculté des Sciences de Lille (Nord).

PELLAT (**H.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 23, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

PELLIN (**Philibert**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'instruments d'Optique et de précision, successeur de Jules Duboscq, 21, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

PELISSIER (**Eugène**), Maître de Conférences à l'Institut national agronomique, Professeur à l'École coloniale, 5, rue Sainte-Beuve. Paris, 6e.

PERNIN (**René**), 60, rue des Tournelles. Paris, 3e.

PEROT (**Alfred**), Directeur du Laboratoire d'Essais au Conservatoire Nationale des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin. Paris, 3e.

PÉROUX (**E.**), Capitaine d'Infanterie de Marine en retraite, 11, rue Camus, à Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise).

PERREAU, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon, Bregille Besançon (Doubs).

PERRIER (Lieutenant), État-major de l'Armée, service géographique, 140, rue de Grenelle. Paris, 7e.

MM.

PERRIN (**Jean**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Paris, 9, rue Rataud. Paris, 5e.

PETIT (**Paul**), Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

PETIT (**Paul**), Professeur au Lycée de Foix (Ariège).

PETITEAU (**Marcel**), Professeur au Lycée, 13, rue de Strasbourg, à Nantes (Loire-Inférieure).

PÉTROFF, Professeur à l'Institut technologique, Directeur du Département des Chemins de fer au Ministère des voies et communications, à Saint-Pétersbourg (Russie).

PEUCHOT, Ingénieur-Opticien, 31, quai des Grands-Augustins. Paris, 6e.

PEYRUSSON (**Édouard**). Professeur de Chimie et de Toxicologie à l'École de Médecine et de Pharmacie, 17, chemin Petit-Tour, à Limoges (Haute-Vienne).

PFAUNDLER (**Léopold**), Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut physique, Halbartgasse, 1, Gratz (Autriche).

PHASMANN (**Augustin**), Maire de Saint-Mihiel (Meuse).

PHILBERT, ancien Receveur des Télégraphes, 58, rue d'Antrain, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

PHILIPPE (**A.**), Professeur au Lycée, 5, rue de l'Abattoir, à Bourges (Cher).

PHILIPPON (**Paul**), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement (Physique) de la Sorbonne, villa Denise, 20, rue Imbergères, à Sceaux (Seine).

PICARD (**Frédéric**), Docteur en médecine, à Amélie-les-Bains (Pyrénées-Orientales).

PICOU (**R.-V.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 41, rue Saint-Ferdinand. Paris, 17e.

PILLEUX, Ingénieur électricien, villa d'Alésia, 5, 111 *bis*, 111 *ter*, rue d'Alésia. Paris, 14e.

PILTSCHIKOFF (**Nicolas**), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

PIONCHON, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue Denfert-Rochereau, à Grenoble (Isère).

PIROT (l'abbé), Professeur à l'Institution Sainte-Marie, à Bourges (Cher).

PISCA (**Michel**), Ingénr des Arts et Manufactures, 152, r. Marcadet. Paris, 18e.

POINCARÉ (**Antoni**), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 14, rue du Regard. Paris, 6e.

POINCARÉ (**Henri**), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 63, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

POINCARÉ (**Lucien**), Inspecteur général de l'Instruction publique, 130, rue de Rennes. Paris, 6e.

POINTELIN. Professeur de Physique au Lycée d'Amiens (Somme).

POLLAK-WSCIEKLICA (Mme **Marcella**), Licenciée ès sciences physiques, 17, rue du Lycée, à Sceaux (Seine).

POLLARD (**Jules**), Directeur de l'École d'Application du Génie maritime, 140, boulevard du Montparnasse. Paris, 14e.

POMEY (**J.-B.**), Ingénieur des Télégraphes, 7, Sentier des Jardies, à Bellevue (Seine-et-Oise).

MM.

PONSELLE (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 114, avenue de Wagram. Paris, 17e.

PONSOT (**A.**), Docteur ès Sciences, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 26, rue Gustave-Courbet. Paris, 16e.

POPOFF (**Alexandre**), Professeur à l'École des Torpilleurs marins, Classe des officiers de Marine, à Cronstadt (Russie).

POPP (**Victor**), ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des Horloges pneumatiques, 9, rue Margueritte. Paris, 17e.

POPPER (**Josef**), Ingénieur-Constructeur de machines, Seidengasse, 31, à Vienne (Autriche).

POTIER, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur des services électriques à la Société normande d'Électricité, 7, rue Henri-Barbet, à Rouen (Seine-Inférieure).

POZZI-ESCOT (**E.**), Chimiste, 23, rue de Jéricho, à Malzeville (Meurthe-et-Moselle).

PRÉAUBERT (**E.**), Professeur au Lycée, 13, rue Proust, à Angers (Maine-et-Loire).

PRÉOBRAJENSKI (**Pierre**), au Musée polytechnique, à Moscou (Russie).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres (Angleterre).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (Russie).

PRETORIANO (**Marin**), Professeur à l'École militaire de Craïova (Roumanie).

PRIEUR (**Albert**), Industriel, 76, boulevard Malesherbes. Paris, 8e.

PUPIN, Docteur en Médecine.

PUYFONTAINE (Comte **de**), 38, avenue Friedland. Paris, 8e.

QUEFFELLEC (**Auguste**), Licencié ès Sciences, Professeur à l'École Saint-Joseph, rue Solférino, à Lille (Nord).

QUERVAIN (**Alfred de**), à Muri, près Berne (Suisse).

QUESNEVILLE (D^r^), Professeur agrégé à l'École supérieure de Pharmacie, 1, rue Cabanis. Paris, 14e.

RADIGUET, Opticien-Constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire. Paris, 3e.

RALLET, Professeur à l'Université de Jassy (Roumanie).

RAMEAU (l'abbé), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers (Nièvre).

RANQUE (**Paul**), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion. Paris, 5e.

RAU (**Louis**), Administrateur délégué de la Compagnie Continentale Edison, 7, rue Montchanin. Paris, 17e.

RAVEAU (**Camille**), Physicien au Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers, 5, rue des Écoles. Paris, 5e.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

RAYMOND (**Eugène**), Ingénieur principal de la Compagnie des Messageries maritimes, à la Ciotat (Bouches-du-Rhône).

MM.

RECHNIEWSKI (**W.-C.**), Ingénieur électricien, 1, avenue de l'Alma, Paris, 8ᵉ.

RECOURA (**Albert**), Doyen de la Faculté des Sciences, 12, rue Pelletier-de-Chambure, à Dijon (Côte-d'Or).

RÉGNARD (Dr **P.**), Membre de l'Académie de Médecine, Directeur de l'Institut agronomique, 222, boulevard Saint-Germain. Paris, 7ᵉ.

RENARD (**Charles**), Colonel du Génie, Directeur de l'Établissement central d'Aérostation militaire, 7, avenue de Trivaux, à Chalais-Meudon (Seine-et-Oise).

RENAULT (**Albert**), Chimiste, 6, rue de Lunain. Paris, 14ᵉ.

REVOY, Professeur au Lycée Gay-Lussac, 25, avenue des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne).

REY PAILHADE (**J. de**), Ingénieur civil des Mines, 18, rue Saint-Jacques, à Toulouse (Haute-Garonne).

RIBAN (**Joseph**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, Professeur à l'École des Beaux-Arts, 85, rue d'Assas. Paris, 6ᵉ.

RIBIÈRE (**Charles**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées (service des Phares), 13, rue de Siam. Paris, 16ᵉ.

RICARD (Dr **E.**), Chirurgien de l'Hôpital, 6, impasse Voltaire, à Agen (Lot-et-Garonne).

RICHARD (**Jules**), Ingénieur-Constructeur, 25, rue Mélingue. Paris, 19ᵉ.

RICHET (**Ch.**), Professeur à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université. Paris, 7ᵉ.

RIGOLLOT (**Henri**), Chargé de Cours de Physique industrielle à l'Université. 43, chemin des Grandes-Terres, à Lyon (Saint-Just) (Rhône).

RILLIET, Professeur à l'Université, 16, rue Bellot, à Genève (Suisse).

RIVIÈRE (**Charles**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 30, rue Gay-Lussac. Paris, 5ᵉ.

RIVIÈRE, Docteur en Médecine, 25, rue des Mathurins. Paris, 9ᵉ.

ROBERT (**A.-C.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 54, rue du Four. Paris, 6ᵉ.

ROCHEFORT (**Octave**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 4, rue Capron. Paris, 18ᵉ.

RODDE (**Ferd.**), 61, rue Rochechouart. Paris, 9ᵉ.

RODDE (**Léon**), 107, rua do Ouvidor, à Rio-de-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (**Emmanuel**), 54, rue de Lisbonne. Paris, 8ᵉ.

ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay (Marne).

ROGOWSKY (**Eugène**), Professeur au Collège Vassiliewski Ostrow, 14ᵉ ligne, n° 23, log. 12, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ROLLAND (**Étienne**), Professeur au Lycée, 4, rue Perpigna, à Pau (Basses-Pyrénées).

ROMILLY (**Félix de**), 25, avenue Montaigne. Paris, 8ᵉ.

ROMILLY (**Paul Worms de**), Inspecteur général des Mines, 7, rue Balzac. Paris, 8ᵉ.

ROPIQUET, Pharmacien, à Corbie (Somme).

MM.

ROQUES (**Dr C.**), Aide de clinique électrothérapique à la Faculté de Médecine, 29, rue Saint-François, à Bordeaux (Gironde).

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'Usine Poirrier, 61, route de Saint-Leu, à Enghien (Seine-et-Oise).

ROSSET (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 4, rue Albouy. Paris, 10e.

ROTHSCHILD (baron **Edmond de**), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré. Paris, 8e.

ROUBAULT, Professeur au Lycée d'Angoulême (Charente).

ROUDET, Professeur au Collège, 4, place Nationale, à Villefranche (Aveyron).

ROUMAILLAC, Docteur en Médecine, à Captieux (Gironde).

ROUSSEAU, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles (Belgique).

ROUSSELET, Proviseur du Lycée de Saint-Étienne (Loire).

ROUSSELOT (l'abbé), Professeur à l'Institut catholique, 74, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

ROUX (**Gaston**), Ingénieur-Conseil, Directeur du Bureau de Contrôle des installations électriques, 12, rue Hippolyte-le-Bas. Paris, 9e.

ROYCOURT (**Eugène**), Constructeur électricien, successeur de M. Bonetti, 69, avenue d'Orléans. Paris, 14e.

ROZIER (**F.**), Docteur en Médecine, 10, rue du Petit-Pont. Paris, 5e.

RYTKATCHEFF (Général), Directeur de l'observatoire de Physique Central Nicolas, à Saint-Pétersbourg (Russie).

SACERDOTE (**Paul**), Ancien Élève de l'École Normale supérieure, Professeur agrégé au Collège Sainte-Barbe, 97, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

SADOWSKY (**Alexandre**), Professeur à l'Université impériale de Physique, à Juriew (Russie).

SAGNAC (**Georges**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 50, rue Gauthier-de-Châtillon, à Lille (Nord).

SAID (**Dj. Mehmeh**), Ingénieur attaché technique à l'Ambassade de Turquie. à Paris, 106, boulevard Arago. Paris, 14e.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Émile**), Ingénieur à la Compagnie du Gaz, 12, rue Alphonse-de-Neuville. Paris, 17e.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), ancien Directeur des Manufactures de l'État, Administrateur délégué de la Société anonyme des anciennes salines domaniales de l'Est, 19, rue de Téhéran. Paris, 8e.

SAINTIGNON (**F. de**), Maître de forges à Longwy (Meurthe-et-Moselle).

SALADIN (**Édouard**), Ingénieur civil des Mines, chez MM. Schneider et Cie, au Creusot (Saône-et-Loire).

SALLES (**Adolphe**), 1, rue Rabelais. Paris, 8e.

SALMON, Professeur au Lycée, 15, rue du Mûrier-d'Espagne, à Nîmes (Gard).

SAMAMA DE CHIKKI (**A.**), rue Sidi-Sofian, à Tunis (Tunisie).

SANDOZ (**Albert**), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 11, rue Rataud. Paris, 5e.

SANTERRE, 2, quai Malaquais. Paris, 6e.

MM.

SARASIN (**E.**), Docteur ès Sciences, Grand Saconnex, à Genève (Suisse).

SARDING (**Jean-Marie-Auguste**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Toulouse (Haute-Garonne).

SARRAN (**E.**), Professeur au Lycée, 79, rue Saint-Genès, à Bordeaux (Gironde).

SARRAZIN, Professeur à l'École des Arts et Métiers et à l'École de Médecine, 8, rue Saint-Serge, à Angers (Maine-et-Loire).

SARRAU, Membre de l'Institut, Directeur des Poudres et Salpêtres, Professeur de Mécanique à l'École Polytechnique, 12, quai Henri IV. Paris, 4e.

SAUTTER (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren. Paris, 15e.

SAUVAGE (**E.**), Postes et Télégraphes, à Tourane (Annam).

SCHAFFERS (R. P. **Victor**), S. J., Docteur ès sciences physiques et mathématiques, Professeur au Collège de la Compagnie de Jésus, 11, rue des Récollets, à Louvain (Belgique).

SCHILLER (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université de Kieff (Russie).

SCHWEDOFF, Professeur de Physique, Recteur de l'Université d'Odessa (Russie).

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, Directeur de la Maison Breguet, 15, rue Bizet. Paris, 16e.

SCOBELTZINE (**Wladimir**), Préparateur au Laboratoire de Physique de l'Université, à Saint-Pétersbourg (Russie).

SEBERT (le Général), Membre de l'Institut, 14, rue Brémontier. Paris, 17e.

SECRÉTAN (**G.**), Ingénieur-Opticien, 13, place du Pont-Neuf. Paris, 1er.

SECRETARY OF THE BOARD OF EDUCATION, Londres W. C. (Angleterre).

SÉGUIN, Recteur honoraire, 27, rue Chaptal. Paris, 9e.

SELIGMANN-LUI, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 78, rue Mozart. Paris, 16e.

SEMENOFF (**J.**), 18, boulevard Arago. Paris, 13e.

SENTIS, Professeur au Lycée, 17, boulevard de Bonne, à Grenoble (Isère).

SERPOLLET, Ingénieur, 11, rue de Stendhal. Paris, 20e.

SERRÉ-GUINO, Examinateur honoraire à l'École de Saint-Cyr, 114, rue du Bac. Paris, 7e.

SIEGLER, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de la voie des Chemins de fer de l'Est, 48, rue Saint-Lazare. Paris, 9e.

SIEGLER (**Jean**), Élève Ingénieur des Mines, 48, rue Saint-Lazare. Paris, 9e.

SIGALAS (Dr **C.**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 67, rue de la Teste, à Bordeaux (Gironde).

SIMOUTRE (l'abbé), Professeur de Physique au Grand Séminaire de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

SIRE (**G.**), Correspondant de l'Institut, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 73, rue de Rennes. Paris, 6e.

SMOLUCHOWSKI DE SMOLAN (le Chevalier **M.**), Docteur ès Sciences, Professeur à l'Université Léopole, Duglosza, 8, rue Léopole-Lemberg (Autriche).

MM.

SOKOLOFF (**Alexis**), Professeur de Physique à l'Académie de Moscou (Russie).

SORET (**Adrien**), Professeur au Lycée, 11, rue Edmond-Morin, au Havre (Seine-Inférieure).

SORET (**Ch.**), Professeur à l'Université, 8, rue Beauregard, à Genève (Suisse).

SORBIER (**J.**), Professeur au Collège de Bône (Algérie).

SPRING (**W. V.**), Membre de l'Académie Royale, Professeur à l'Université, 32, rue Beckmann, à Liége (Belgique).

STACKELBERG (baron **Édouard de**). Reval Dom Ritterhaus (Russie).

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

STCHEGLAYEF (**Woldemar**), Professeur de Physique à la Haute-École technique de Moscou (Russie).

STEPANOFF, Professeur de Physique, Place Ossoxine, Maison Britneff, log. t, n° 11, à Cronstadt (Russie).

STIASSNIE (**Maurice**), Opticien, 204, boulevard Raspail. Paris, 14e.

STOKES (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge, Ledsfield Cottage, Cambridge (Angleterre).

STRAVOLCA, Professeur à l'Université de Jassy (Roumanie).

STRAUSS (**S.**), Lieutenant-Colonel, Chef du Génie, 2, rue Ronchaux, à Besançon (Doubs).

STREET (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 56, rue de Londres. Paris, 9e.

SULZER (**E.-C**), Docteur en Médecine, 22, rue de Tocqueville. Paris, 17e.

SWYNGEDAUW (**R.**), Maître de Conférences à l'Institut de Physique, 85, rue Jeanne-d'Arc, à Lille (Nord).

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome (Italie).

TAILLEFER (**André**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 5, rue Bonaparte. Paris, 6e.

TANGL (**Charles**), Docteur de l'Université, Kerepesi utera 80, à Budapest. (Hongrie).

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Secrétaire général de la Société météorologique de France, Directeur de l'observatoire de Météorologie dynamique de Trappes, 82, avenue Marceau. Paris, 8e.

TEPLOFF (**N.**). Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir-Kaies, 15, Maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

TERMIER, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines, 164, rue de Vaugirard. Paris, 15e.

TERRIER, Professeur au Lycée, 38, rue du Bel-Air, à Laval (Mayenne).

THÉNARD (le baron **Arnould**), chimiste-agronome, 6, place Saint-Sulpice. Paris, 6e.

THIESEN (Dr **Max**), Professeur Physikalischen Technische Reichsanstalt, Charlottenburg-Berlin (Allemagne).

MM.

THIMONT, Professeur au Collège Stanislas, 144, boulevard du Montparnasse. Paris, 14e.

THOMAS, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger (Algérie).

THOMPSON (Silvanus-P.), Professeur à Finsbury Technical College, Morland, Chislett Road, West Hampstead, Londres N.-W. (Angleterre).

THOUVENEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 9, rue des Arènes. Paris, 6e.

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

TISSIER, Professeur au Lycée Voltaire, 1, rue Mirbel. Paris, 5e.

TISSOT, Lieutenant de vaisseau, Professeur de Physique à l'École Navale, 2, rue d'Aiguillon, à Brest (Finistère).

TOMBECK, Docteur ès Sciences, 59, boulevard Pasteur. Paris, 15e.

TONARELLI, Professeur au Lycée de Chambéry (Savoie).

TORCHEBEUF (Ch.), Constructeur d'instruments de Physique, 15, rue de l'Estrapade. Paris, 5e.

TOUANNE (G. de la), Ingénieur des Télégraphes, 8, rue de Tournon. Paris, 6e.

TREUVEY (l'Abbé **Charles**), Professeur de Physique au Collège de la Trinité, 58, rue de Sèze, à Lyon (Rhône).

TRIPIER (D^r), 8, rue Vignon. Paris, 9e.

TROOST, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 84, rue Bonaparte. Paris, 6e.

TOUPOT (J.-E.), Curé de Robert-Espagne (Meuse).

TROUVÉ (G.), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne. Paris, 2e.

TSCHERNING (Dr **Marius**), Directeur du Laboratoire d'Opthalmologie à la Faculté des Sciences, 15, rue de Mézières. Paris, 6e.

TULEU (Charles), Ingénieur, 58, rue d'Hauteville. Paris, 10e.

TURPAIN (A.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 4, rue Vauvert, à Poitiers (Vienne).

UCHARD (A.), Chef d'escadron d'Artillerie, 10, rue de Redon, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

ULLMANN (Jacques), Constructeur électricien, 16, boulevard Saint-Denis. Paris, 10e.

UNIVERSITÉ DE SYDNEY (New South Wales).

VAGNIEZ (Édouard), 14, rue Lemercier, à Amiens (Somme).

VAN DER WAALS. Professeur à l'Université d'Amsterdam (Hollande).

VANDEVYVER (L.-N.), Docteur ès sciences, chargé de Cours à l'Université, 63, boulevard de la Citadelle, à Gand (Belgique).

VARENNE (de), Préparateur au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 7, rue de Médicis. Paris, 6e.

VAUGEOIS (Jean-Georges), Ingénieur électricien à l'usine G.-B. Blot, Fabricant d'accumulateurs, 14, rue d'Issy, à Billancourt (Seine).

MM.

VASSEUR (**Alfred**), 87, boulevard d'Alsace-Lorraine, à Amiens (Somme).

VAUTIER (**Théodore**), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon (Rhône).

VAYSSIÈRES (**Louis**), Professeur au Lycée, 7, rue Antoine-Marty, à Carcassonne (Aude).

VEILLON (**Henri**), Docteur en Philosophie, Privat docent à l'Université, 27, rue Euler, à Bâle (Suisse).

VELTER (**Jules**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Deleuil, 42, rue Falguière. Paris, 15e.

VERNIER (**Victor**), Professeur au Lycée, 44, rue de Berlin, Dijon (Côte-d'Or).

VICENTINI (**Giuseppe**), Professeur de Physique à l'Université de Padoue (Italie).

VIEILLE, Ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres, Professeur à l'École Polytechnique, 12, quai Henri IV. Paris, 4e.

VIGNON (**Léo**), Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université, Institut de Chimie, rue de Béarn, à Lyon (Rhône).

VIGOUROUX (Dr **Romain**), Médecin de l'Institut municipal d'Électrothérapie à la Salpêtrière, 22, rue Notre-Dame-de-Lorette. Paris, 9e.

VILLARD (**P.**), Docteur ès Sciences, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

VILLIERS (**Antoine**), Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire. Paris, 14e.

VINCENS (**Albert**), Licencié ès Sciences mathématiques et physiques, 10, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

VINCENT, Docteur ès Sciences, Agrégé, 8, rue de l'Abbé-de-l'Épée. Paris, 5e.

VINCENT (l'Abbé), Professeur à l'Institution Saint-François-de-Sales, à Alençon (Orne).

VIOLET (**Léon**), 20, rue Delambre. Paris, 14e.

VIOLLE, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, Maître de Conférences à l'École Normale, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

VIRIEU (Marquis **de**), au Château de Pupetières, par Chabons (Isère), ou 107, rue de la Pompe. Paris, 16e.

VLASTO (**Ernest**), Ingénieur-Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles. Paris, 5e.

VLIET (**Van der**), Professeur de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

VOIGT, Professeur honoraire du Lycée de Lyon, à Géanges, par Saint-Loup-de-la-Salle (Saône-et-Loire).

VOISENAT (**Jules**), Ingénieur des Télégraphes, au Mans (Sarthe).

WAHA (**de**), Professeur de Physique, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WALKENAER, Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École des Mines, 218, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

MM.

WALLON (**Étienne**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 65, rue de Prony. Paris, 17e.

WEIL (**Albert**), Docteur, 151, boulevard Magenta. Paris, 10e.

WEILLER (**Lazare**), Ingénieur manufacturier, 29, rue de Londres. Paris, 9e.

WEINBERG (**Boris**), Privat docent de Physique à l'Université d'Odessa (Russie).

WEISS (Dr **Georges**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin. Paris, 16e.

WEISS (**Pierre**), Professeur à l'Institut de Physique de Zurich (Suisse).

WEISSMANN (**Gustave**), Ingénieur des Constructions civiles E.C.P., 47, rue de Boulainvilliers. Paris, 16e.

WERLEIN (**Ivan**), Constructeur d'instruments d'Optique, 8, rue d'Ulm. Paris, 5e.

WEST (**Emile**), Ingénieur, 29, rue Jacques-Dulud, à Neuilly-sur-Seine.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère. Paris, 17e.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique, à Erlangen (Allemagne).

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, Professeur aux Facultés catholiques, 29, rue d'Antin, à Lille (Nord).

WOLF (**Charles**), Membre de l'Institut, Astronome honoraire de l'Observatoire, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue des Feuillantines. Paris, 5e.

WOLFF (Dr **Edmond**), Professeur à l'École de Médecine, 52, rue Bernard-Palissy, à Tours (Indre-et-Loire).

WOULFF, Agrégé de l'Université de Varsovie (Russie).

WUILLEUMIER (**H.**), Docteur ès Sciences, 20 *bis*, rue Chaptal. Paris, 9e.

WYROUBOFF (**G.**), Docteur ès Sciences, 20, rue Lacépède. Paris, 5e.

YVON (**P.**) Membre de l'Académie de Médecine, 26, avenue de l'Observatoire. Paris, 14e.

ZAHM (le R. P. **J.-A.**), Professeur de Physique à l'Université, à Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, 63, S. Martin, à Santiago (Chili).

ZETTER (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Compagnie française d'appareillage électrique, 16, rue Montgolfier. Paris, 3e.

ZILOFF (**Pierre**), Professeur de Physique à l'Université de Varsovie (Russie).

ZIMMERN (**A.**), Ancien Interne des Hôpitaux, 121, boulevard Haussmann. Paris, 8e.

Juillet 1902.

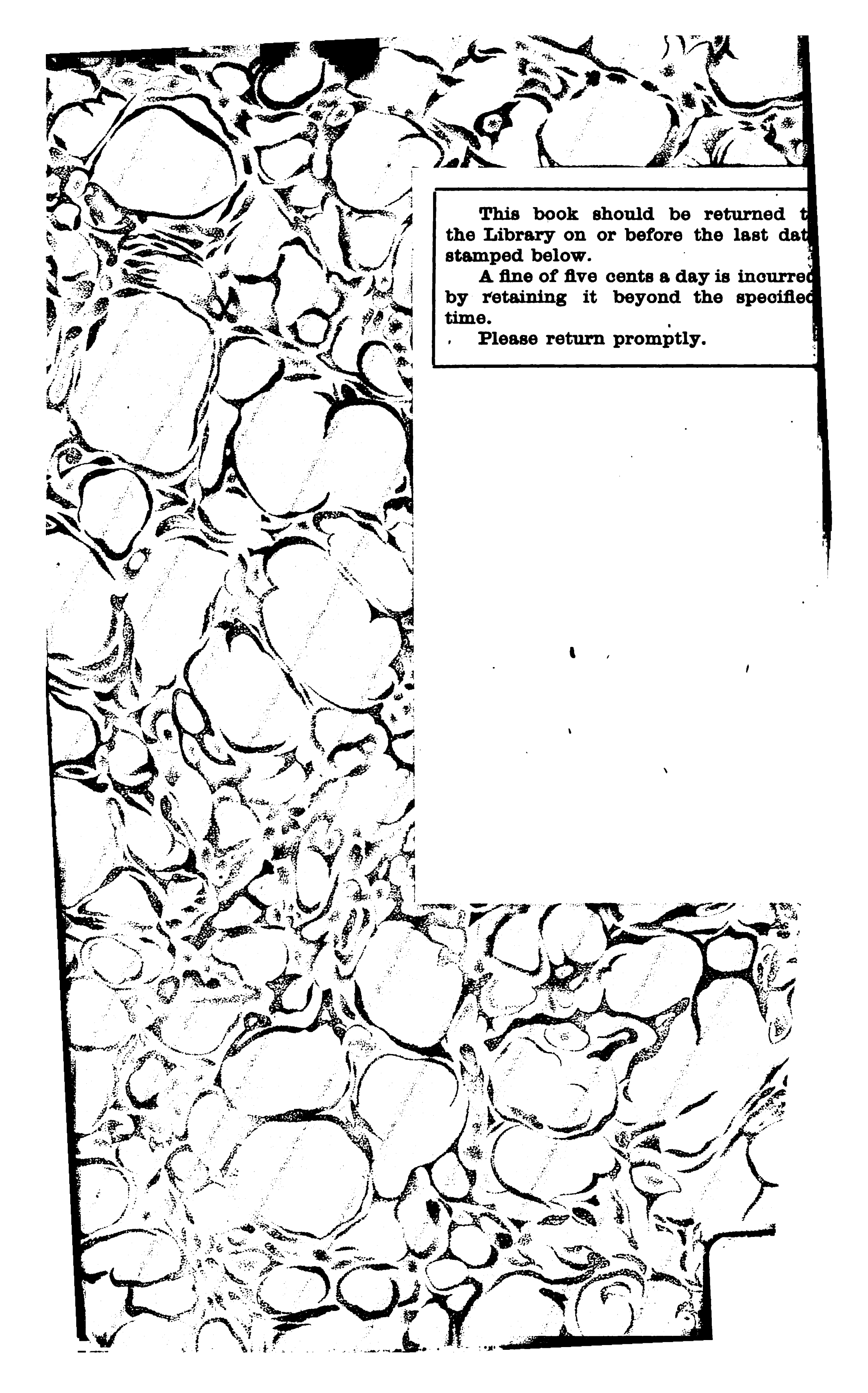
Prière d'adresser les rectifications et changements d'adresse à M. A. Sandoz, agent général de la Société, 11, rue Rataud (5e).

TABLE DES MATIÈRES.

PROCÈS-VERBAUX ET RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS.

31110 — Paris. Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.





This book should be returned t
the Library on or before the last dat
stamped below.
A fine of five cents a day is incurre
by retaining it beyond the specifie
time.
Please return promptly.